Über den Einfluß verunreinigter Luft auf Heliotropismus und Geotropismus

von

Dr. Oswald Richter,
Assistent.

Aus dem pflanzenphysiologischen Institute der k. k. deutschen Universität in Prag, Nr. 82 der II. Folge.

(Mit 4 Tafeln.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 1. Februar 1906.)

Neljubow[1] war der Erste, der jene eigentümlichen Krümmungen von Wicken-, Erbsen- und Linsenkeimlingen, die man unter dem Namen der horizontalen Nutation zusammenfaßte, als krankhafte Wachstumsformen erkannte, bedingt durch den Einfluß der Laboratoriumsluft, und damit auch der Erste, der die Aufmerksamkeit der Pflanzenphysiologen auf diesen wichtigen, zu vielen falschen Schlüssen führenden Faktor gelenkt hat, welcher bei zahlreichen physiologischen Experimenten kaum ausgeschlossen werden kann.

Kurze Zeit nachher erfolgten die einschlägigen Veröffentlichungen von Singer[2] und mir.[3]

Molisch hatte nun bei seinen Untersuchungen über den Heliotropismus im Bakterienlicht[4] und über den indirekt hervor-

---

[1] D. Neljubow, Über die horizontale Nutation der Stengel von *Pisum sativum* und einiger anderen Pflanzen. Sep. Bot. Zentralbl., Beihefte, Bd X, H. 3, 1901.

[2] M. Singer, Über den Einfluß der Laboratoriumsluft auf das Wachstum der Kartoffelsprosse. Ber. der deutsch. bot. Gesellsch., 1903, p. 175.

[3] Oswald Richter, Pflanzenwachstum und Laboratoriumsluft. Ebenda, p. 180.

[4] H. Molisch, I. Über Heliotropismus im Bakterienlichte. Diese Sitzungsber., Bd. CXI, Abt. I, 1902, p. 141. — II. Leuchtende Pflanzen. Eine physiologische Studie. Jena 1904, p. 145.

gerufen durch Radium[1] Gelegenheit, die außerordentlich große Bedeutung der gasförmigen Verunreinigungen der Laboratoriumsluft in Bezug auf Heliotropismus und Geotropismus zu beobachten.

In der zweiten der genannten Arbeiten faßt er die diesbezüglichen Erfahrungen wie folgt zusammen:[2]

»Die Spuren von Leuchtgas und anderen Verunreinigungen flüchtiger Natur, die sich in der Luft des Laboratoriums vorfinden, genügen, um die Reizbarkeit des Plasmas so zu beeinflussen, daß die Stengel der genannten Keimlinge keinen negativen Geotropismus mehr zeigen. Mit dem Ausschalten des negativen Geotropismus stellt sich gleichzeitig eine so hochgradige heliotropische Empfindlichkeit ein, daß es unter diesen Umständen gelingt, gewisse Pflanzen noch zu heliotropischen Bewegungen zu veranlassen, die unter normalen Verhältnissen dazu nicht mehr befähigt sind«.

Da diese Beobachtungen zweifellos von großer Wichtigkeit sind; da jeder Pflanzenphysiologe, der im Laboratorium Versuche über das Bewegungsvermögen der Pflanze anstellt, unbedingt darauf Rücksicht nehmen muß, wenn er sich vor Irrtümern und Fehlerquellen bewahren will; da, wie ich gefunden habe, auch das Saatgut eine Rolle spielen kann, so habe ich, anknüpfend an Molisch's Befunde, die einschlägigen Fragen auf breiter experimenteller Basis erneuten Untersuchungen unterworfen.

Dazu war es bloß notwendig, jene Versuchsanordnung, wie ich sie bereits für den Nachweis des Einflusses der Laboratoriumsluft auf Wachstum und Zirkumnutationsbewegung beschrieben habe,[3] mit der Beleuchtung der Keimlinge durch eine beliebige Lichtquelle zu verquicken. Nur wurden in der Folge noch gewisse erhöhte Vorsichten gebraucht, wie sie sich bei der weiteren Beschäftigung mit dem Gegenstand als zweckmäßig ergaben, um ja jedem Einwande gerecht zu werden.

Was zunächst die alte Versuchsanordnung anbelangt, so bestand sie im wesentlichen darin, daß vier Keimschalen mit

---

[1] H. Molisch, III., Über Heliotropismus, indirekt hervorgerufen durch Radium. Ber. der deutsch. bot. Gesellsch., 1905, XXIII., p. 1 bis 8.

[2] H. Molisch, III., l. c., p. 7.

[3] Oswald Richter, l. c., p. 180.

Glasglocken mit den Keimlingen beschickt wurden, und zwar so, daß zwei mit Wasserabschluß versehen wurden, eine einen Abschluß mit feuchtem Filtrierpapiere, die letzte aber keinen Abschluß erhielt. Indem nun in dem einen abgesperrten Luftraume durch ein Schälchen mit konzentrierter Kalilauge für die Absorption der erzeugten Kohlensäure gesorgt war, konnte die Unabhängigkeit der bedeutenden Größenunterschiede der Versuchspflanzen sowohl von der Kohlendioxydanreicherung wie von dem vollkommenen Transpirationsausschluß dargetan werden.

Dieses Ergebnis möchte ich um so mehr hervorheben, als Rimmer[1] den großen Höhenunterschied bei *Phaseolus vulgaris* auch schon beobachtet, aber auf die Unterschiede des Feuchtigkeitsgehaltes im »total feuchten und trockenen Raume« zurückgeführt hat.

Ich habe auf diese Frage nochmals meine Aufmerksamkeit gelenkt und kann meine früheren diesbezüglichen Befunde nur bestätigen. Zur genauen Überprüfung dieser Verhältnisse wurden die mit Klötzchen gehobenen Glasglocken auch noch innen vollkommen mit feuchtem Filtrierpapier ausgelegt, während die äußere Umhäufung aus nassem Filtrierpapier belassen wurde. Endlich wurde, um ja ganz sicher zu gehen, auch die Glocke, die mit der Laboratoriumsluft in Verbindung treten sollte, in Wasser gestellt und mit einer dickeren Glasröhre gehoben, so daß ihr unterer Rand eben über Wasser kam. Auch bei Anwendung dieser Vorsichten änderte sich im Effekte gar nichts.

Die Erwähnung der Glasröhre veranlaßt mich, hier gleich auf ein Ergebnis hinzuweisen, auf das ich an anderer Stelle ausführlicher zu sprechen komme. Es hat sich nämlich gezeigt, daß Terpene und andere gasförmige Verunreinigungen auf die verschiedensten Keimlinge in ganz ähnlicher Weise wirken wie die Laboratoriumsluft, und zwar in Verdünnungen, bei denen eine Wirkung geradezu unglaublich erscheint. Da sie aber doch beobachtet wird, konnten auch jene Spuren gasförmiger

[1] Fr. Rimmer, Über die Nutationen und Wachstumsrichtungen der Keimpflanzen. Diese Sitzungsber., Bd. LXXXIX, Abt. I, 1884, Maiheft, p. 414.

Verunreinigung, die besonders bei erhöhter Temperatur, wie Molisch[1] gezeigt hat, aus einem Holzklötzchen ausströmen, die Versuchsergebnisse störend beeinflussen, weshalb ich von der Verwendung von Holzklötzchen in der Folge Abstand nahm. Da es auch sehr wahrscheinlich wurde, daß jene Spur von gasförmigen Verunreinigungen, die bei meiner ursprünglichen Versuchsanordnung mit dem Abschließen eines Quantums Luft im Laboratorium durch Wasser in ihm vorhanden war, bei den bedeutend heikligeren neuen Versuchen störend wirken konnte, wurde das nötige Luftquantum mit Wasserabschluß aus dem Glashause geholt.

Danach ergeben sich als endgültige, vorläufig nach allen Richtungen befriedigende Regeln für die Versuchsanstellung folgende:

1. Die Vorbereitungen für den Versuch sind höchstens mit Ausnahme des Herumlegens von Filtrierpapier um die Glocke im Glashause zu treffen.

2. Alle Glasglocken werden mit Wasserabschluß unter Dunkelsturz in den Versuchsraum übertragen.

3. Die Versuche sind bei schwachem roten Licht einer photographischen Lampe oder, wenn nötig, was bei einiger Übung nicht schwer fällt, im Dunkeln aufzustellen, d. h. die nötige Zahl von Glocken mittels Glasröhrchen über die Wasserschichte zu heben, mit feuchtem Filtrierpapier zu versehen, im Halbkreis um die künftige Lichtquelle zu stellen u. s. f.

4. Von einer auch nur teilweisen Auskleidung der Glasglocken mit Filtrierpapier muß bei heliotropischen Versuchen Abstand genommen werden wegen der dadurch eventuell hervorgerufenen Differenz in der Lichtintensität gegenüber den Kontrollglocken. Ein solches Vorgehen ist um so berechtigter, als bereits die früheren Ausführungen diese Vorsichtsmaßregel als unnötig erscheinen ließen.

Nachdem ich so die Methode der Versuchsanstellung in großen Zügen besprochen habe, möchte ich die Versuchs-

---

[1] H. Molisch, IV. Bakterienlicht und photographische Platte. Diese Sitzungsber., Bd. CXII, Abt. I, 1903.

ergebnisse zusammenfassend wiedergeben und auf die am Schlusse der Arbeit als Anhang angefügten Versuchsprotokolle verweisen.

I. Orientierende Versuche über den Einfluß von Kohlensäureanreicherung und Transpirationsausschluß auf Heliotropismus und Geotropismus.

Es war selbstverständlich, daß beim Herantreten an meine Frage zunächst alle anderen Möglichkeiten der Tropismenbeeinflussung ausgeschaltet werden mußten.

Sperrt man Wintererbsenkeimlinge von etwa 2 *cm* Höhe, die im Dunkeln im Glashause soweit herangewachsen sind, in reiner Luft *a)* ohne, *b)* mit Kalilauge unter Glasglocken mit Wasserabschluß ab und umgibt man sonst ähnlich beschickte, aber durch Heben mit der Laboratoriumsluft in Verbindung stehende Glocken *c)* mit feuchtem Filtrierpapier, während man *d)* ohne Filtrierpapier beläßt und stellt die vier Glocken unter den entsprechenden Vorsichten im Halbkreise um eine kleine, runde Flamme in der Dunkelkammer[1] auf, so kann man nach zwei bis drei Tagen bei sonst günstiger Temperatur ganz wesentliche Unterschiede an den Keimlingen bemerken:

Die Keimlinge in *a)* und *b)* sind um ein bedeutendes länger, man kann sagen rund dreimal so lang als die in *c)* und *d)*. Sie neigen sich zur Lichtquelle unter einem Winkel von beiläufig 45°, sind schmächtig, relativ geschmeidig und haben relativ große Blättchen.

Die Keimlinge in *c)* und *d)* dagegen sind, wie auch die Photographie Fig. 1 zeigt, wahre Zwerge, dabei verhältnismäßig sehr dick, fühlen sich turgeszent an und brechen sofort, wenn man die kurze, vollständig horizontal gegen das Licht strebende Strecke in die Vertikale biegen will.

Das Wesentliche für die Frage über den Einfluß verunreinigter Luft auf Heliotropismus und Geotropismus aber ist die Krümmung der Keimlinge von der Vertikalen um 90°.

---

[1] Die Dunkelkammer war in jeder Beziehung exakt und lichtdicht.

Dabei ist weder zwischen *a)* und *b)* noch zwischen *c)* und *d)* ein besonderer Unterschied zu bemerken.

Außer Winter- wurden Sommererbsen, Futterwicken u. s. f. mit ganz ähnlichem Erfolge verwendet.

Folgerungen aus diesen Befunden.

Aus diesen Versuchen ergibt sich unmittelbar, daß weder dem Transpirationsausschluß noch der Anreicherung des Kohlendioxyds eine merkliche Rolle bei den großen beobachteten Unterschieden in der Höhen- und Dickenentwicklung der Keimlinge und dem heliotropischen Effekte zuzuschreiben ist.

Macht man die analogen Versuche im Dunkeln mit horizontal gelegten Keimpflanzen, so zeigt sich ebenso, daß auf die noch später zu beschreibenden geotropischen Effekte ebenso weder Transpirationsausschluß noch Kohlendioxydanreicherung einen nennenswerten Einfluß haben. Da nun die durch Wieler's, Jaccard's und Schaible's Versuche[1] nahegelegte starke Beeinflussung des Längenwachstums durch Sauerstoffentspannung im Hinblick auf meine früheren Experimente unwahrscheinlich gemacht, dessen Beeinflussung durch die Laboratoriumsluft dagegen darnach nicht zu bezweifeln war, auch der Heliotropismus in den zitierten Untersuchungen von Molisch[2] sich durch die gasförmigen Verunreinigungen der Luft beeinflußbar gezeigt hatte und Experimente über Geotropismus im Glashause nach dieser Richtung hin aufmunternd ausgefallen waren, wurde angenommen, daß die gasförmigen Verunreinigungen der Luft die Ursache der auffallenden Ergebnisse seien.

Alle Befunde stimmten in der Folge mit dieser Annahme überein, so daß ich nicht anstehe, sie als richtig anzusehen.

---

[1] Vergl. die Literaturangaben in meiner zitierten Arbeit, p. 182.

[2] H. Molisch, III. l. c., p. 7.

Jaccard[1] hat seither seine Versuche über den Einfluß des Gasdruckes auf die Entwicklung der Gewächse wiederholt und darüber in den »Verh. der schweiz. naturf. Gesellschaft«, Winterthur 1904 (p. 50 bis 51), kurz berichtet. Wie ich aus einer privaten Mitteilung von ihm weiß, steht eine ausführliche Arbeit noch aus. Immerhin kann man dem Referat im »Bot. Zentralbl.« soviel entnehmen, daß die neue Serie von Experimenten eine Bestätigung seiner früheren Versuche des Jahres 1893 darstellt.

Er wendet sich dabei hauptsächlich gegen meine[2] Bemerkung:

»Die großen Höhenunterschiede bei den Versuchspflanzen Jaccard's und Schaible's dürften sich durch die Wirkung der Laboratoriumsluft auf die Kontrollpflanzen erklären«,

ohne dabei anscheinend zu berücksichtigen, daß ich kurz vorher[3] für eine geringe Förderung des Längenwachstums im O-entspannten Raum eingetreten war:

»Ganz primitive Experimente im Warmhause unseres Glashauses... haben inzwischen gelehrt, daß tatsächlich eine geringe Förderung des Längenwachstums im O-entspannten Raum eintritt, daß, wie von Jaccard und Schaible immer hervorgehoben wird, besonders die Blattlamina im Wachstum gefördert wird...«

Ich glaube nun, daß auch, wenn man sich bereits derzeit ein Urteil erlauben darf, die neuen Versuchskolonnen Jaccard's meinen oben wiedergegebenen Einwand nicht widerlegen, da sie abermals in einem der derzeit gebräuchlichen Laboratorien durchgeführt worden sind.[4]

»Les cultures entreprises par Jaccard en juin et juillet 1904 dans le laboratoire de physiologie végétale du Polytechnikum (Zürich) étaient toutes en pleine vigeur et parfaitement normales, aussi bien dans l'air du laboratoire à la pression normale que dans l'air déprimé«.

---

[1] P. Jaccard, Influence de la pression des gaz sur la croissance des végétaux. Nouvelles recherches. Autoreferat Bot. Zentralbl., 1905, Nr. 46, Bd. XCIX, XXVI. Jahrg., p. 500 bis 501.

[2] Oswald Richter, l. c., p. 188.

[3] Oswald Richter, l. c., p. 187.

[4] P. Jaccard, l. c., p. 501.

Jaccard's Ansicht gegenüber endlich, wonach bei meinen Versuchen im Winter 1902/3 der Lichtmangel (»le manque de lumière) für die Entwicklungshemmung der Keimpflanzen verantwortlich gemacht werden könnte (»doit avoir entravé[1] le développement des cultures faites par O. Richter à Prague«), möchte ich bloß hervorheben, daß ich absichtlich mit verdunkelten Kulturen arbeitete, um nicht weitere, durch den Assimilationsgasaustausch bedingte Unklarheiten zu schaffen. Und ich glaube, es gehe aus sämtlichen wiedergegebenen Versuchen klar hervor, daß sowohl die Pflanzen unter Glocken mit Wasserabschluß, also in reiner Luft, wie die unter solchen mit Laboratoriumsluftzutritt verdunkelt, die Versuchsbedingungen also bei Versuchs- und Kontrollpflanzen in dieser Hinsicht die gleichen waren. Daß natürlich die Düsterheit des winterlichen Himmels gegen die absichtliche Verfinsterung gar nicht in Betracht kommt, liegt auf der Hand. Ich kann betonen, daß seither auch im Frühjahr und im Sommer bei analog ausgeführten Versuchen im Dunkeln und bei Belichtung die Keimlinge je nach der schlechteren oder besseren Lüftung der Institutsräume größere oder geringere Höhen- und Dickenunterschiede zeigten, ganz ähnlich wie im Winter 1902/3.

Vorläufig erscheint mir also trotz der neuen Versuche Jaccard's die Frage nach der Bedeutung der O-Spannung für das Längenwachstum nicht endgültig beantwortet. Gelöst wird sie überhaupt nie in einem unserer derzeitigen Laboratorien mit ihren Gasleitungen und Reagentienfläschchen. Wenn man diese Frage exakt in Angriff nehmen will, muß man im Freien, in einem Gewächshaus oder sonst in einem von gasförmigen Verunreinigungen freien Raum arbeiten; ich kann somit nur unter Hinweis auf Wieler's, Jaccard's und Schaible's frühere Versuche und Jaccard's neue Experimente wiederholen,[2] daß es »in hohem Grade wünschenswert geworden ist, die Befunde der genannten Forscher durch Versuche in reiner Luft einer genauen und eingehenden Prüfung zu unterziehen«.

---

[1] P. Jaccard, l. c., p. 501.

[2] Oswald Richter, l. c., p. 187.

Wie hier, wird sich nach meiner Meinung auch noch bei vielen anderen Gelegenheiten die Notwendigkeit einer Kontrolle vieler bisher auf Grund von Laboratoriumsversuchen aufgestellten Ansichten durch Experimente in reiner Luft ergeben. In dieser Meinung bin ich durch Wächter's[1] interessante Ausführungen über die chemonastischen Bewegungen von Blättern erst jüngst bestärkt worden und kann nur wieder »auf die Konsequenzen hinweisen, die sich für die Einrichtung und den Zustand der Laboratoriumsräume, die reizphysiologischen Untersuchungen dienen«,[2] aus den Beobachtungen von Neljubow,[3] Singer,[4] mir,[5] Molisch[6] und Wächter[1] ergeben.

Einer von den angedeuteten Fällen, wo eine Kontrolle der derzeitigen Anschauungen unter Berücksichtigung des nun immer mehr beachteten[7] Faktors der gasförmigen Verunreinigungen der Luft notwendig geworden war, ist die Tropismenfrage.

Im folgenden soll nun gezeigt werden, welche Verschiebungen die gangbaren Ansichten über Heliotropismus und Geotropismus durch eine solche Kontrolle erleiden.

II. Versuche über den Einfluß der Laboratoriumsluft.

A. Auf den Heliotropismus.

Als Versuchsobjekte verwendete ich die auch von Molisch empfohlenen Keimlinge von *Vicia sativa* L.

---

1 W. Wächter, Chemonastische Bewegungen der Blätter von *Callisia repens*. Vorläufige Mitteilung. Ber. der deutsch. bot. Gesellsch., 1905, XXIII. Jahrg., p. 379.

2 W. Wächter, l. c., p. 382.

3 D. Neljubow, l. c.

4 M. Singer, l. c.

5 Oswald Richter, l. c.

6 H. Molisch, I. und II., l. c.

7 Es ist nicht uninteressant, daß auch von bakteriologischer Seite wiederholt auf die Bedeutung der Laboratoriumsluft besonders für die Kultur von Nitrobakterien hingewiesen worden ist. W. Rullmann, Der Einfluß der Laboratoriumsluft bei der Züchtung von Nitrobakterien. I. und II. Zentralbl. für B. und P., 2. Abt., V. Bd., 1899, p. 212 und 713.

In einer Fußnote hat bereits W. Figdor[1] in seiner Arbeit über heliotropische Empfindlichkeit der Pflanzen, auf die ich später noch wiederholt zu sprechen kommen werde, zur Klärung dessen, was man in physiologischen Laboratorien als *Vicia sativa* bezeichnet, beigetragen. Nach seinen Ausführungen verhalten sich nahe verwandte Spezies, *Vicia segetalis* und *V. angustifolia*, ähnlich wie *Vicia sativa*, was die Lichtempfindlichkeit anlangt. Die beiden Spezies seien früher als Varietäten von *Vicia sativa* angesehen worden.

Was nun meine zunächst auf die Rolle des Saatgutes bei meinen Experimenten abzielenden Untersuchungen anlangt, so ergab gleich der erste orientierende Versuch, daß man im Handel mit dem Namen »Futterwicke« grundverschiedene Arten bezeichne, und zwar werden sehr gerne *Vicia villosa* Roth. und *Vicia sativa* L. miteinander verwechselt.

Ich will gleich erwähnen, daß ich mit daraufhin aus Deutschland bezogenen Vicien eine Reihe von Versuchen über die verschiedene Beeinflußbarkeit derselben durch die Laboratoriumsluft angestellt habe, deren Ergebnisse sich im letzten Abschnitte dieser Arbeit zusammengestellt finden.

Hier seien zunächst einige Experimente besprochen, die mit *Vicia sativa* L. und *V. villosa* Roth. gleichzeitig ausgeführt, in unzweideutiger Weise deren Speziesverschiedenheiten, sowohl was die Beeinflussung der beiden durch die gasförmigen Verunreinigungen der Luft, wie deren Empfindlichkeit gegen das Licht und die Erdschwere anbelangt, dartun sollen.

1. Der Grundversuch zur Demonstration der verschiedenen Empfindlichkeit verschiedener Wickenspezies sowohl gegen die gasförmigen Verunreinigungen der Luft wie gegen das Licht.

Vergl. Protokolle Nr. 1 und Nr. 2 und Photographie Fig. 2.

Der Versuch wurde, wie erwähnt, mit Futter-[2] und Sandwicken[2] durchgeführt.

---

[1] W. Figdor, Versuche über die heliotropische Empfindlichkeit der Pflanzen. Diese Sitzungsber., Bd. CII, Abt. I, Februar 1893, p. 49.

[2] Der Kürze halber sei Futterwicke mit »*Fu*«, Sandwicke mit »*Sa*« abgekürzt.

Je zwei Blumentöpfe standen unter einer Glasglocke, davon war immer der eine mit 14 Keimlingen der *Fu* (zwei Reihen zu 7 Pflanzen), der andere in gleicher Weise mit Keimlingen der *Sa* besät.

Im übrigen vergleiche man bezüglich der Versuchsanstellung das eingangs Erwähnte.

Aus den Protokollen Nr. 1 und 2 und aus vielen anderen nicht mitgeteilten Versuchen geht zweifellos hervor:

1. Daß die Pflanzen derselben Art sich wesentlich von einander unterscheiden, wenn sie in reiner oder unreiner Luft kultiviert sind. Man kann sowohl einen großen Längenunterschied, bei *Fu* z. B. 15·42 : 4·60 *cm*, bei *Sa* 12·95 : 5·65 *cm*, als auch bedeutende Dickenunterschiede wahrnehmen, bei *Fu* 1 : 2 *mm*, bei *Sa* 1 : 1·8 *mm*, wobei ich besonders darauf aufmerksam machen möchtc, daß sich diese Differenz in der Dicke beiläufig in der Mitte der Keimlinge am stärksten ausprägt. Das erklärt sich aus der plötzlichen, in der Versuchsanstellung ersichtlichen Einwirkung der gasförmigen Verunreinigungen der Luft auf die Versuchspflanzen.

2. Die Keimlinge der Sandwicke zeigen in der Laboratoriumsluft bedeutend größere Längenzuwächse als die der *Fu* unter sonst gleichen Verhältnissen; dagegen sind die der *Sa* durchschnittlich stets bedeutend schmächtiger in unreiner Luft. (Prot. 2). $D_{(Fu)} : D_{(Sa)}$[1] $= 2 \cdot 5$ *mm* : 1·5 *mm*, d. h. die gasförmigen Verunreinigungen der Luft äußern ihren schädigenden Einfluß auf *V. sativa* viel stärker als auf *V. villosa* oder *V. villosa* ist von beiden Wickenspezies die minder empfindliche.

3. In reiner Luft reagiert bei einer gewissen Lichtintensität der verwendeten Flamme die *Fu* noch, die *Sa* schon nicht mehr heliotropisch.

Die gemessenen Winkel verhalten sich (Prot. 2) in einem bestimmten Falle bei *Fu* : *Sa* = 8° : 0°. Ist die Lichtintensität größer, so erweist sich auch die *Sa* heliotropisch, aber viel weniger als die *Fu*.

Die *Sa* ist also viel weniger heliotropisch als die *Fu*.

---

[1] Die Bezeichnungen werden aus dem betreffenden Protokolle sofort ersichtlich.

4. Wenn wir bei dem dem Versuchsprot. 2 entnommenen Falle bleiben, so zeigt sich, daß die *Sa*-Keimlinge in der unreinen Luft bei der verwendeten geringen Lichtintensität noch immer außerordentlich deutlich heliotropisch reagieren. Ebenso macht sich bei den Futterwicken die bedeutend stärkere Krümmung zum Licht in der unreinen gegenüber der in der reinen Luft bemerkbar.

Es erscheint also ganz allgemein der Winkel, den heliotropische Pflanzen derselben Spezies in reiner im Vergleiche zu solchen in verunreinigter Luft gegen die Vertikale bilden, als beiläufiges Maß für die Verunreinigungen der Luft.

Die Erklärung ist in der eingangs zitierten Stelle aus Molisch's Abhandlung enthalten.

5. In unreiner Luft neigen sich die Keimlinge der *Fu* beziehungsweise der *Sa* unter bedeutend verschiedenen Winkeln gegen die Lichtquelle.

Das Prot. 1 gibt das Verhalten bei *Fu* : *Sa* = 88·3° : 67·3°. Auch der bloße Anblick der Photographien Fig. 2 und 6! zeigt das Vorwalten der Krümmung bei den *Fu*-Keimlingen ganz zweifellos.

Eine solche Verschiedenheit des Winkels gegen die Vertikale findet nun eine einfache Erklärung in der Annahme einer verschiedenen Empfindlichkeit des Protoplasmas der verschiedenen Wickenspezies gegen die gasförmigen Verunreinigungen der Laboratoriumsluft unter Berücksichtigung der schon von Molisch gegebenen Erklärung der fast horizontalen Wendung von Wickenkeimlingen zu einer Lichtquelle im Laboratorium.

Wenn wir annehmen, daß die Empfindlichkeit der *Sa* gegen die Verunreinigungen der Luft die gleiche ist wie die der *Fu*, dann wird die Empfindlichkeit für die negativ geotropische Komponente gänzlich oder fast gänzlich aufgehoben, wie bei der *Vicia sativa* in den Versuchen von Molisch, wenn aber die Empfindlichkeit für den negativen Geotropismus noch, wenn auch geschwächt, besteht, dann muß zwischen Heliotropismus und negativem Geotropismus ein der Schwächung entsprechendes Kompromiß entstehen und die Pflanzen müssen, heliotropisch gekrümmt, durch den Winkel, den sie mit der Vertikalen bilden

die Beeinflussung sowohl durch die Erdschwere wie durch das Licht und die Laboratoriumsluft zum Ausdrucke bringen, mit anderen Worten:

Der Winkel, den Pflanzen verschiedener Spezies in verunreinigter Luft der Wirkung einer Flamme ausgesetzt, mit der Vertikalen bilden, kann als beiläufiges Maß für ihre Empfindlichkeit für gasförmige Verunreinigungen der Luft angesehen werden.

Diese Ergebnisse lassen es wünschenswert erscheinen, nachzusehen, inwieweit die bisherigen Beobachtungen über Heliotropismus, abgesehen von denen von Molisch, als Stütze für meine obigen Ausführungen und Folgerungen angesehen werden können.

Am eingehendsten hat sich mit den Erscheinungen des Heliotropismus Wiesner befaßt. Indem ich mir also erlaube, auf p. 35, 55, 56 und 57 der bekannten Monographie der heliotropischen Erscheinungen[1] zu verweisen,. möchte ich mir gestatten, einige wichtige Momente hervorzuheben, die zeigen werden, daß Wiesner's Versuche in einem Raum und unter Bedingungen ausgeführt erscheinen, die eine Beeinflussung derselben durch die gasförmigen Verunreinigungen der Luft ganz zweifellos machen, so daß Wiesner's Ergebnisse nach mancher Richtung nur für Versuche im Laboratorium mit verunreinigter Luft Geltung haben.

Aus einem Vergleiche der Angaben Wiesner's mit meinen Versuchen geht zunächst zweifellos hervor, daß Wiesner, freilich ohne Kenntnis der Rolle, welche der Laboratoriumsluft bei solchen Experimenten zukommt, alle jene Erscheinungen an seinen Versuchspflanzen *(Vicia sativa)* beobachtet und beschrieben hat, die bei meinen Versuchen bei den Pflanzen in verunreinigter Luft wiederkehren.

In Anbetracht des engen verwendeten Raumes (55·1 m^3), der Anstriche des Mobiliars, der großen Menge brennender Gasflammen (die Lichtquelle war eine relativ große Gasflamme von

[1] J. Wiesner, Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche. Eine physiologische Monographie. I. Teil, 1878, p. 35 ff. des Sep. aus dem 39. Bande der Denkschr. der k. Akad. zu Wien, mathem.-naturw. Klasse.

6·5 Walratkerzen; dunkle Brenner wurden in vielen Versuchen hinter Schirmen zur Wärmeregulierung verwendet), des Abschlusses nach außen, mußte schließlich eine Atmosphäre entstehen, die für heliotropische Versuche, speziell mit *Vicia sativa*, wie geschaffen war.

Was nun zunächst Wiesner's Bemerkungen über die Möglichkeit der Aufhebung der Schwerkraft durch die Lichtwirkung (p. 55 und 56) anbelangt: eine Glocke mit Keimlingen in reiner Luft mit Wasserabschluß neben die Versuchskeimlinge gestellt, hätte gezeigt, daß diese vor den Schädigungen der unreinen Luft bewahrt, sehr wohl auf den Geotropismus reagiert und so beiden wirkenden Kräften folgend, sich unter einem Winkel von 45° oder einem kleineren Winkel von der Vertikalen gegen die Lichtquelle geneigt hätten, jedenfalls aber nicht in die Lichtrichtung hineingeraten wären.

Sicherlich ist es die Lichtwirkung nicht allein, wie Wiesner meinte, die die Schwerkraftswirkung aufhebt, sondern gewiß auch die Laboratoriumsluft beziehungsweise ganz allgemein Verunreinigungen der Luft, die das Plasma in der Weise beeinflussen, daß es für den Geotropismus unempfindlich wird.

Auch decken sich Wiesner's p. 57 mitgeteilte Angaben über das Vertikalbleiben des eben exponierten Stengelstückes bei Erbse und Wicke mit meinen diesbezüglichen Beobachtungen an Pflanzen in unreiner Luft.

Endlich hat, wie aus p. 55 hervorgeht, Wiesner, freilich in Unkenntnis des von mir betonten Faktors, auch schon Versuche gemacht, die meine Annahme von der verschiedenen Empfindlichkeit des Plasmas verschiedener Wickenspezies gegen Licht und Geotropismus und vor allem gegen die Verunreinigungen der Luft zu stützen geeignet sind. Zwar beziehen sich die einschlägigen Bemerkungen Wiesner's auf *Vicia sativa* und *Vicia Faba*, von denen diese heute als eigene Gattung, *Faba*, von *Vicia* bereits abgegliedert wird. Was sich also aus Wiesner's Versuchen für die schon äußerlich so sehr verschiedenen Wicken ableiten läßt, haben meine Experimente für die leicht verwechselbaren Keimlinge von *Vicia sativa* und *Vicia villosa* erwiesen.

»Es entsteht nun« (p. 41) »die Frage, ob die Schlußfolgerungen, welche hier auf Grund von im Gaslichte vorgenommenen Versuchen gezogen wurden, auch auf solche Pflanzenteile übertragen werden dürfen«, die unter normalen Verhältnissen wachsen.

Aus meinen vergleichenden Versuchen ergibt sich, daß dies unmöglich ist und daß gewisse der sorgfältigen Versuche Wiesner's im Laboratorium heute eine entsprechende Wiederholung heischen mit Berücksichtigung des eben in die Tropismenfrage eingeführten, bislang unbeachtet gelassenen Faktors der umgebenden Luft.

Es werden sich besonders in den Beobachtungen über Zusammenwirken von Heliotropismus und Geotropismus, über photomechanische Induktion und bei den Bestimmungen der Empfindlichkeitsgrenzen sowie in Bezug auf die Aufhebung der geotropischen Wirkung nicht unwesentliche Abweichungen von Wiesner's Angaben ergeben, von denen einige noch im folgenden werden besprochen werden können.

Inwieweit auch die Versuche über die Wirkung der verschieden brechbaren Strahlen, die auch zum großen Teile aus Experimenten gerade mit Wicken im Laboratorium abgeleitet sind, die durch das Vorhandensein gasförmiger Verunreinigungen bedingte Einschränkung werden notwendig machen und für reine Luft Geltung haben, dürften in dieser Richtung angestellte Versuche zeigen.

Oltmanns[1] hat auf Grund seiner Experimente mit elektrischem Lichte die Wiesner'sche Versuchsanordnung einer Kritik unterzogen und als wesentlichen Fehler den wenn auch nicht äußerlich bemerkbaren, so doch höchstwahrscheinlich vorhandenen Feuchtigkeitsmangel in der Nähe der Flamme als Grund der schon oben besprochenen Wachstumshemmung angenommen, jedenfalls erscheine es »kaum zweifelhaft, daß seine Versuchspflanzen infolge der großen Annäherung an die Flamme geschädigt waren«. Ich habe bereits eine diesbezügliche Vermutung mitgeteilt.

---

[1] Fr. Oltmanns, I. Über positiven und negativen Heliotropismus. Flora, 1897, 83. Bd., p. 20 und 21. — II. Über die photometrischen Bewegungen der Pflanzen. Flora, 1892, 75. Bd., p. 228.

Inwieweit nun die sehr wertvollen Versuche Oltmanns an dem gleichen Fehler wie die Wiesner's — Nichtberücksichtigung der gasförmigen Verunreinigungen der Luft — leiden, vermag ich nicht zu beurteilen, um so weniger als Oltmanns als Versuchsobjekte *Phycomyces*-Kulturen und von Keimlingen bloß Gerste und Kresse »etc.« nennt.

Dennoch möchte ich auf die folgenden, der Oltmanns'schen Arbeit entnommenen Stellen hinweisen:

p. 1: »Das physiologische Institut in Freiburg besitzt eine durch vierpferdigen Gasmotor getriebene Dynamomaschine, welche wieder eine große Projektionslampe (natürlich Bogenlicht) speist. Diese ganze vortreffliche Einrichtung stand mir... zur Verfügung« (es ist nicht gesagt, ob der Motor im selben, im Nachbarzimmer oder in einem abgelegenen Raume stand).

p. 2: »Die Lampe stand in dem völlig verdunkelten Hörsaal des physiologischen Institutes« (von besonderen Durchlüftungsvorrichtungen der Dunkelkammer wird nicht gesprochen).

Auch erscheint beachtenswert, daß p. 19 auf spontane Nutationen hingewiesen wird, die »störend eingreifen«. Sie »sind bald stärker, bald schwächer, zuweilen so ansehnlich, daß man glauben möchte, eine heliotropische Krümmung vor sich zu haben«. Auch Correns[1] fand, daß man durch derartige »Nutationsbewegungen irregeleitet« werden könne.

In Anbetracht der oben zitierten Stellen erscheint es besonders wertvoll, daß Figdor, wie ich aus einer privaten Mitteilung dieses Forschers weiß, demnächst neue Versuche über den Einfluß großer Lichtintensitäten auf Keimlinge veröffentlichen wird.

Nach meinen bisherigen Erfahrungen an verschiedenen Orten unterbleiben alle Erscheinungen, die auf verunreinigte Luft zurückzuführen sind, wenn man mit elektrischen Glühlampen arbeitet und sonst keine Laboratoriumsluft da ist.

Es dürfte sich daher die Kontrolle der schon oben gewürdigten Oltmanns'schen Versuche in unserem Sinn am zweckmäßigsten mit einer großen Anzahl Glühlampen in laboratoriumsluftfreiem Raum ausführen lassen und da man heute

---

[1] C. Correns, Über die Abhängigkeit der Reizerscheinungen höherer Pflanzen von der Gegenwart freien Sauerstoffes. Habilitationsschrift. Tübingen 1892, p. 139.

bekanntlich Glühlampen auch sehr geringer Lichtintensität zu liefern im stande ist, dürfte auch damit der Weg zu einer Kontrolle der älteren Versuche gewiesen sein. Natürlich müßte vor allem die verwendete Dunkelkammer von dem mit Gasleitungen reichlich versehenen Institute vollkommen getrennt werden.

Fallen dann die Untersuchungen in dem angedeuteten Sinn, also frei von dem immer wieder hervorgehobenen Fehler aus, dann wird man Oltmanns um so freudiger zustimmen, wenn er p. 22 sagt: »Ich denke die Zeiten nicht mehr fern, wo in einem ordentlichen botanischen Institute hinreichende elektrische Leitungen und Apparate vorhanden sind«.

2. Der photometrische Versuch von Wiesner.

Wiesner[1] hat bekanntlich als Erster die Idee Payer's, Keimlinge zu photometrischen Zwecken zu benutzen, praktisch realisiert.

Da Wiesner nach seiner eigenen Angabe den Versuch nur machte, »um eine Andeutung zu geben, daß diese Idee Payer's eine praktische Bedeutung gewinnen kann, wenn sie in zweckmäßiger Weise in Angriff genommen werden würde« und meines Wissens sich seither niemand dem vorliegenden Problem gewidmet hat, möchte ich einen diesbezüglichen Versuch beschreiben, der in schlagender Weise die Payer-Wiesnersche Anschauung bestätigt. Eine solche Mitteilung erscheint um so mehr am Platze, als wir heute noch mit einem Wiesner damals noch nicht bekannten Faktor, den gasförmigen Verunreinigungen der Luft, zu rechnen haben.

Zunächst vermied ich die Verwendung der relativ stark leuchtenden Flammen. Während Wiesner in dem geometrischen Halbierungspunkte der Distanz je 5·5 Normalkerzen starker, 3 *m* voneinander entfernter Flammen immer je einen Keimling der Saatwicke oder Schminkbohne einstellte, benutzte ich Mikrobrenner, die 61 *cm* voneinander entfernt waren.

Mit dem Bunsen'schen Fettfleckphotometer fand ich mit in der Dunkelkammer vollkommen ausgeruhtem Auge Gleich-

---

[1] J. Wiesner, l. c., p. 43, 44.

heit der Lichtintensität, wenn das Photometer von der einen Flamme 35 *cm*, von der anderen 26 *cm* entfernt war. Ich will noch bemerken, daß beide Mikrobrenner, um eine Feuersgefahr zu vermeiden und der Überhitzung vorzubeugen, mit dem unteren Teile, also bis zur Ansatzstelle des Gummischlauches, in Glasschalen mit Wasser standen, weiter, daß sie durch ein T-Rohr mit ein und derselben Gasleitung zusammenhingen und jede eventuelle Schwankung im Gasdrucke bei beiden Flammen gleichmäßig zum Ausdrucke kommen mußte, so daß an der Differenz ihrer Lichtintensitäten an jenem vom Photometer ermittelten Punkte nichts geändert werden konnte.

Nachdem ich so die Stelle gleicher Lichtintensität gefunden hatte, markierte ich sie durch einen Strich mit Kreide. Dieser gab nun seinerseits die Möglichkeit einer ganz genauen Orientierung der Keimlinge, deren Kolonnen, scharf ausgerichtet, genau über diesen Strich zu stehen kamen.

Es war dabei gleich darauf Rücksicht genommen worden, daß die Keimlinge der *Sa*, die sich immer minder empfindlich erwiesen hatten, zunächst zu beiden Seiten der Verbindungsgeraden beider Lichtquellen aufgestellt wurden.

Über Abschluß der Glocken und Umhäufung mit nassem Filtrierpapier u. s. f. vergleiche man das eingangs Gesagte.

Wie das Prot. 3 zeigt, trat bei drei Töpfen, zwei mit je 14 *Fu* und einem mit der gleichen Anzahl *Sa* besätem Topfe, die heliotropische Reaktion ein, und zwar gegen dieselbe Flamme. Bei einem Topf unterblieb jede Reaktion, in ihm verhielten sich die Pflanzen als wüchsen sie im Finstern. Es waren Sandwicken in reiner Luft.

Da die in verunreinigter Luft außerordentlich deutlichen Heliotropismus zeigten, ergibt sich unmittelbar wieder der Schluß von der Steigerung der heliotropischen Empfindlichkeit durch die gasförmigen Verunreinigungen der Luft.

Für die *Fu* in reiner Luft ist der Moment des Unempfindlichwerdens noch nicht erreicht, was die Neigung 5° bis 30° von der Vertikalen zeigt, ein Beleg für die verschiedene Empfindlichkeit des Plasmas beider Wicken in reiner Luft für Licht- beziehungsweise Schwerkraftreize.

Vergleichen wir endlich den Durchschnittsneigungswinkel der Keimlinge der *Fu* und *Sa* in unreiner Luft 54·7° : 35·8°, so gibt uns dieser wieder den Beleg von der verschiedenen Empfindlichkeit der verschiedenen Wickenspezies gegen die gasförmigen Verunreinigungen der Luft. Die *Sa* erweist sich wieder als minder empfindlich. Ich möchte dazu noch betonen, daß die *Sa* durch die Aufstellung innen den Flammen näher war, also die größere Lichtintensität genoß.

Im übrigen verweise ich auf das Prot. 3 und die beigegebene Photographie Fig. 3. Es wird daraus sowohl der Längen- wie der Dickenunterschied klar hervorgehen.

Die nach Beendigung des Versuches am 9. Juli, $12^h\,5^m$ nachts, mit ausgeruhtem Auge durchgeführte Bestimmung der Lichtintensitäten der verwendeten Flamme ergab als Werte bei Vergleich mit einer Normalkerze

für die erste . . . . . 0·005029 N. K.,
für die zweite . . . 0·00309 N. K.

Danach lieferte die erste Flamme unter Berücksichtigung der Distanz $\sqrt{37^2 - 14{\cdot}5^2}$ an die Keimlinge eine Lichtintensität von

0·000.00434 N. K.,

die zweite in ähnlicher Weise

0·000.00411 N. K.

Es reagierten somit die Keimlinge auf einen Unterschied[1] von 0·000.00023 N. K. noch ganz deutlich und einheitlich, ausgenommen die Sandwicke in reiner Luft, wohl der beste Beweis für die Verwendbarkeit gewisser Pflanzen für photometrische Zwecke.

Für die Sandwicke stellt 0·000.00023 N. K. die untere Grenze der Lichtempfindlichkeit in reiner Luft vor.

---

[1] Die berechnete Intensitätsdifferenz muß natürlich auf der ganzen Linie der Aufstellung die gleiche sein. Der Bequemlichkeit halber wurde sie für den Mittelpunkt der Aufstellung berechnet.

Die bisherigen Versuche haben es noch nicht möglich gemacht, die für dieselbe Wicke in unreiner Luft oder gar für die *Vicia sativa* in unreiner Luft bei einer runden Leuchtgasflamme als Lichtquelle aufzufinden.

Immerhin kann man das eine mit Bestimmtheit voraussagen, daß sie bei *Vicia sativa* in reiner Luft eher erreicht sein wird wie in unreiner und jedenfalls führt der Weg der Verwendung von Mikrobrennern statt der stark leuchtenden Flammen in dieser Richtung eher zum Ziel.

Man braucht sich nur zu denken, daß ich die verwendeten Brenner 3 *m* auseinandergerückt hätte, so wäre die Lichtintensitätsdifferenz vermutlich schon so klein geworden, daß endlich auch die *Vicia sativa* wie im Dunkeln gewachsen wäre, also nicht mehr heliotropisch reagiert hätte. Freilich nimmt im selben Grade die Schwierigkeit zu, mit dem Bunsen'schen Photometer den Punkt gleicher Intensität zwischen den Flammen zu finden.

3. Versuche mit phosphoreszierenden Substanzen.

Angeregt durch die Untersuchungen von Molisch[1] über den Heliotropismus im Bakterienlichte hat P. Kleophas Hofmann[2] nachgewiesen, daß das Phosphoreszenzlicht mineralischer Substanzen im stande ist, Heliotropismus hervorzurufen. Er experimentierte mit den bekannten käuflichen, in Glasröhrchen eingeschlossenen Leuchtpulvern, die nach Belichtung im Finstern längere Zeit phosphoreszieren. Vor solche von Zeit zu Zeit belichtete Röhrchen stellte Hofmann im Finstern Keimlinge der Wicke, Erbse, Linse und Sonnenblume und konnte bei allen mit Ausnahme der Sonnenblume deutlichen positiven Heliotropismus feststellen.

Schon die der Abhandlung beigegebenen Photographien machten es mir nach dem Aussehen besonders der Erbsen und Linsen zweifellos, daß er in einem Raume gearbeitet haben

---

[1] H. Molisch, l. l. c.

[2] K. Hofmann, Heliotropismus im Phosphoreszenzlichte mineralischer Substanzen. (Eine vorläufige Mitteilung.) Jahresb. des Privatgymnasiums in Duppau, 1902/3, p. 33 bis 38.

mußte, wo sozusagen kaum von gasförmigen Verunreinigungen der Luft gesprochen werden konnte. Bei der Durchsicht der Arbeit wurde diese Ansicht voll bestätigt. Um nämlich jene Fehler, die aus dem Vorhandensein solcher gasförmiger Verunreinigungen resultieren konnten, zu vermeiden, hatte er sich einen derartigen Raum »mit möglichst reiner Landluft« (p. 34) zu verschaffen gewußt, in dem er die Versuche anstellte.

Dies besonders ließ mich hoffen, in den doch relativ schwach leuchtenden phosphoreszierenden Substanzen eine für meine Zwecke ausgezeichnete Lichtquelle zu finden und durch Steigerung der Lichtempfindlichkeit in verunreinigter Luft auch auf einige Zentimeter Distanz mit diesen Lichtquellen gehen zu können.

Schon Hofmann glaubt aus seiner Versuchsanstellung schließen zu dürfen, daß unter den verwendeten Gläschen das mit dem blauen Lichte die größte heliotropische Wirkung geäußert habe. In Anbetracht der umfangreichen Versuche von Wiesner über die verschiedenen Strahlengattungen war ein solches Resultat um so wahrscheinlicher und ich benützte deshalb gleich nur zwei blau und ein violett leuchtendes Gläschen.

Besonders hebe ich hervor, daß nur kurze Zeit die leuchtende Eigenfarbe für das menschliche Auge wahrnehmbar ist. Später erscheinen die Gläschen einfach weiß, offenbar wegen der zu geringen Lichtintensität, die nicht ausreicht, in unserem Auge eine Farbenempfindung hervorzurufen. Es scheint, daß, ebenso wie das Bakterienlichtspektrum mit einer Ausnahme nach Molisch[1] nur ein Helligkeitsspektrum ist, auch hier schließlich die Gläschen in weißer Farbe leuchten.

Das erwähnte weiße Licht strahlen dann freilich die Substanzen mit abnehmender Intensität stundenlang aus, so daß ich nach Belichtung um Mittag des einen Tages noch am Morgen des folgenden das Licht wahrnehmen konnte.

Nach den ersten Vorversuchen, die mir zeigten, daß Keimlinge der *Fu* beziehungsweise *Sa* in reiner Luft vollkommen gerade, in unreiner mit Wiesner's Nutationen ohne jede Orientierung wuchsen, also sich verhielten wie im Dunkeln,

[1] H. Molisch, II., l. c., p. 129.

wenn sie mit alle drei oder vier Stunden belichteten Gläschen auf etwa 8 *cm* Distanz beleuchtet wurden, daß aber bei Belichtung der Substanzen nach je einer Stunde bei derselben Distanz der Lichtquellen deutlicher Heliotropismus zu bemerken war, wurde jener Versuch ausgeführt, den das Prot. Nr. 4 in seinem Verlaufe und die Photographien Fig. 4 und 5 in seinem Endergebnisse darstellen.

Um die Versuchsanordnung aller Experimente endgültig zu illustrieren, wurde hier auch der ganze Versuch aufgenommen.

Versuchsergebnis.

Wenn auch in der reinen Luft noch eine Krümmung zum Lichte stattgefunden hat, so ist sie jedenfalls so klein ausgefallen, daß man sie weder schätzungsweise noch mit dem Transporteur richtig angeben konnte.

Diese fast vertikale Stellung im Vergleiche zur starken Krümmung in der verunreinigten Luft spricht klar für die Steigerung der heliotropischen und Schwächung der geotropischen Empfindlichkeit der beiden Wickenspezies durch die unreine Luft.

Das Verhältnis der Winkel $Fu : Sa = 72 \cdot 8° : 46 \cdot 7°$ erscheint wieder als der Ausdruck der größeren Empfindlichkeit der *Fu* für die Laboratoriumsluft, ebenso der geringere Zuwachs derselben in unreiner Luft, $Fu : Sa = 1 \cdot 63\,cm : 2 \cdot 41\,cm$, nicht minder deren größere Dicke, $Fu : Sa = 2\,mm : 1 \cdot 5\,mm$.

Ich könnte hier fast wörtlich das beim photometrischen Versuche schon Gesagte wiederholen, weshalb ich diesbezüglich auf die eben herangezogenen Ausführungen verweise.

Was nun die Lichtintensität[1] der als Lichtquelle verwendeten drei Gläschen mit phosphoreszierender Substanz

---

[1] Bei der Lichtintensitätsbestimmung mit Hilfe eines Mikrobrenners bekannter Lichtintensität ergab sich eine große Schwierigkeit darin, daß das Photometer, so lange man mit dem Mikrobrenner innerhalb einer Distanz von 52 bis 92 *cm* vom Photometer blieb, während man die phosphoreszierenden Substanzen auf der anderen Seite des Photometers in der konstanten Entfernung von 6 *cm* beließ, nicht mehr die Fettfleckstreifen, sondern nur gleichmäßig helle Flächen zeigte. Erst diesseits beziehungsweise jenseits der angegebenen Distanzgrenzen wurden die Fettfleckstreifen sichtbar. Es wurde daher

anbelangt, so wurde sie bei den stark leuchtenden, farbigen, eben der Sonne 25 Minuten exponierten Objekten mit vollkommen ausgeruhtem Auge bestimmt — ich hatte mein Auge eine halbe Stunde an die Dunkelheit gewöhnt — und gleich

0·000.0158 N. K.

gefunden, woraus sich für die Lichtintensität bei den

Sa bei 6 *cm* Distanz der Wert von 0·000.0004 N. K.,
Fu » 8 *cm* » » » » 0·000.0002 N. K.

ergibt, eine Zahl, die gut mit der beim Wiesner'schen Photometerversuch erlangten übereinstimmt.

Da, wie früher erwähnt, nach relativ kurzer Zeit das blaue Licht für unser Auge verschwindet, also die Lichtintensität bedeutend abnimmt, hat man dieses Versuchsergebnis aufzufassen als Spezialfall der noch zu beschreibenden Induktionsversuche, wo mit einer alle Stunden erneuten Lichtintensität von 0·000.0002 N. K. ein ungemein auffallendes Resultat erzielt wird.

Es ist das meines Wissens der erste Fall, wo man mit so geringer Lichtstärke und doch eigentlich relativ großen Zeitintervallen einen deutlichen phototropischen Effekt erzielt hat.

Zu dieser Folgerung, den Versuch als Induktionsversuch anzusehen, glaube ich mich aus den vorhin erwähnten Vorversuchen berechtigt, die gezeigt haben, daß jenes »weiße Licht« bei der Auslösung der Bewegung zum Lichte kaum mehr in Betracht kommt, und wenn, so gebührt jedenfalls der photomechanischen Induktion der Hauptanteil am Effekte.

4. Induktionsversuche.

Wiesner[1] hat zuerst die von Müller-Thurgau[2] entdeckte Erscheinung einer Nachwirkung beim Heliotropismus

---

der Mittelwert der Grenzdistanzen 52 bis 92 *cm*, also 72 *cm*, bei der Berechnung der Lichtintensität der phosphoreszierenden Substanzen verwendet. Daher hat die Zahl für die bei diesem Versuche verwendete Lichtintensität nur einen approximativen Wert.

[1] J. Wiesner, l. c., p. 61, 69.

[2] H. Müller-Thurgau, Über Heliotropismus. Flora, 1876, p. 68.

genauer studiert und mit den bisherigen Kenntnissen über den Heliotropismus in Beziehung gebracht. Er ist es auch, der den Ausdruck »photomechanische Induktion« in Vorschlag brachte. Sie besteht darin, daß ein durch eine bestimmte Zeit beleuchtetes heliotropisches Organ, ob es nun vor der Lichtquelle stehen bleibt oder ihrer Wirkung entzogen oder einer entgegengesetzten Beleuchtung ausgesetzt wird, in derselben Stellung bleibt oder in eine andere gebracht wird, sich im Sinne der ursprünglichen Beleuchtung krümmt.

Die Tatsache, daß Wiesner alle einschlägigen Versuche in der früher beschriebenen Dunkelkammer unternahm, ließ auch hier neue Experimente, die den Faktor Laboratoriumsluft mit berücksichtigen, aussichtsvoll erscheinen.

Wiesner selbst hat, abgesehen von den zahlreichen Versuchen Ambronns, die er beaufsichtigte, auch selbst noch solche mit Wicke und Sonnenblume angestellt, von welchen diese nach Müller-Thurgau »stark negativ geotropisch und nur schwach heliotropisch« ist, während jene nach Neljubow's[1] und meinen Untersuchungen in ganz außerordentlicher Weise von den gasförmigen Verunreinigungen der Luft beeinflußt wird.

Wiesner[2] schreibt über *Vicia sativa:*

»Die Keimstengel von *Vicia sativa* verhalten sich insoferne denen der Sonnenblume entgegengesetzt, als sie stärker heliotropisch als geotropisch sind. Die Induktion des Heliotropismus erfolgt hier unter günstigen Verhältnissen nach 35 Minuten; die Induktion des negativen Geotropismus hingegen äußert sich bei horizontaler Aufstellung erst beiläufig nach 1 Stunde 15 Minuten.«

Auf die eben wiedergegebene Bemerkung Wiesner's über den Geotropismus komme ich später nochmals zurück, hier möchte ich nur erwähnen, daß es mir gelungen ist, durch Verwendung einer Lichtintensität von 0·00438, 0·00357, ja von 0·00165 und 0·0014 N. K. ganz zweifellose heliotropische Effekte bei einer Exposition von 5 Minuten zu erzielen.

---

[1] D. Neljubow, l. c.

[2] L. c., p. 64.

Indem ich auf die Photographie Fig. 6 und die Versuchsprotokolle Nr. 5 und 6 verweise, möchte ich bloß auf gewisse Vorsichten noch etwas genauer eingehen, die ich bei diesen Versuchen beobachtete.

Wie ich bei der Beschreibung des Lichtthermostaten von Molisch noch hervorheben werde, war derselbe unten um die heizende Flamme so dicht mit schwarzem Papier umgeben, daß das menschliche Auge, selbst nach halbstündigem Aufenthalt in der Dunkelkammer nicht eine Spur von Licht wahrnehmen konnte. War also die Belichtungsflamme ausgelöscht, so herrschte in der Dunkelkammer absolute Finsternis.

Die Belichtungsflamme, ein Flachbrenner von 23·65 N. K., stand zwischen beiden durch die Protokolle Nr. 5 und 6 wiedergegebenen Versuchen in der Höhe des ersten.

Die Distanzen der zur Verbindungsgeraden der Flamme und des Aufstellungsmittelpunktes näheren *Sa* betrugen 119 *cm* beziehungsweise 73 *cm*, die der *Fu* 130 *cm* beziehungsweise 81 *cm*.

Um ja sicher zu gehen, wurden noch über den zweiten wiedergegebenen Induktionsversuch große Dunkelstürze gleich nach Abdrehen der Flamme gestülpt.

Die erhaltenen Resultate könnten von einem der Grundversuche genommen sein, so genau stimmen sie zu den bisherigen. Man vergleiche das Protokoll Nr. 5 und 6.

Wieder ist ein ins Auge springender Unterschied zwischen den Pflanzen in reiner und unreiner Luft zu bemerken.

Diesmal hat auch eine Induktion von 2×5 Minuten binnen 48 Stunden nicht genügt, eine phototropische Krümmung bei den Pflanzen in der reinen Luft auszulösen; selbst die *Vicia sativa* erweist sich gerade, als ob sie nie dem Licht ausgesetzt worden wäre. Die negative geotropische Komponente erscheint diesmal bei den Pflanzen in reiner Luft als das einzig maßgebende.

Ganz anders ist das Bild in der unreinen Luft. Hier ist die Krümmung außerordentlich deutlich. Die Krümmungswinkel bei *Fu* : *Sa* = 80·5° : 47·4° bestätigen die oft gemachte Erfahrung von der verschiedenen Empfindlichkeit der verschiedenen Wickenspezies für die gasförmigen Ver-

unreinigungen der Luft, die die geotropische Komponente fast oder teilweise unwirksam machen.[1]

Die verschiedenen Längenzuwächse sowie die verschiedene Dickenzunahme sind eine Illustration mehr zu den bereits oft hervorgehobenen Tatsachen.

Daß ich diesmal im Versuchsprotokolle Nr. 5 alle Winkel angegeben habe, hat seinen Grund darin, weil es mir wichtig schien, einmal die individuelle Variation, mit der man bei solchen Versuchen zu rechnen hat, zu illustrieren. Bei *Fu* schwanken die Winkelwerte zwischen 60° bis 93°, bei *Sa* zwischen 20° bis 75°. Mir scheint es um so wichtiger, dies zu zeigen, weil in diesen Zahlen förmlich die ganze Skala der möglichen Winkel vom Optimum oder Maximum Wiesner's bis zum Minimum enthalten sind, trotzdem die Keimlinge knapp neben einander und nicht, wie Wiesner sie stets aufgestellt hat, einer hinter dem anderen stehen, so daß jeder im eigenen Blumentopf in seiner Krümmung den Ausdruck der Lichtwirkung in einer bestimmten Distanz abgeben sollte. Wenn auch die so von Wiesner[2] durchgeführten Versuche bei Wiederholungen ähnliche Ergebnisse zeitigten, so scheinen doch die eventuellen Fehler, die durch individuelle Variation entstehen können, sehr beachtenswert.

Die angegebenen Winkelwerte habe ich aber auch noch aus einem anderen Grund ausführlich gebracht. Sie zeigen uns nämlich ganz unzweideutig, daß schon der erste kurze Impuls des Lichtes auf das Plasma in der Laboratoriumsluft genügt, um dem weiteren Wachstum die Direktion zu geben, und zwar gleich mit der ganzen Stärke (90° bei *Vicia sativa*).

Wiesner[3] hat den Prozeß der photomechanischen Induktion verglichen mit der von Bunsen und Roscoe gemachten Entdeckung von der photochemischen Induktion.

Mir scheint es nun nicht unpassend, an das Beispiel des Chlors und des Wasserstoffes anzuknüpfen.

---

[1] Wiesner's Erfahrungen mit *Vica faba*, die er, um eine heliotropische Wirkung zu erzielen, drei Stunden dem Licht exponierte, können hier zweckmäßig zum Vergleiche herangezogen werden.

[2] L. c., p. 36.

[3] L. c., p. 66.

Eine Verbindung beider Elemente findet nach Baker[1] auch im Lichte nur äußerst langsam statt, wenn die Gase absolut trocken in absolut trockenem Raume dem Licht ausgesetzt werden.

Unendlich geringe Spuren eines Körpers fördern gewisse Reaktionen — Katalysatoren — und nach den neuesten Untersuchungen von Klatt und Lenár[2] sollen Spuren von Kupfer und anderen Metallen die Phosphoreszenz von Leuchtpulvern wesentlich begünstigen.

In diesen Analogis dürfte sich die Erklärung der außerordentlichen Empfindlichkeit der Pflanzen in verunreinigter Luft gegen Lichtreize finden. So wie man heute im stande ist, durch gewisse Beimengungen die Lichtempfindlichkeit photographischer Platten ins Unglaubliche zu steigern, so scheinen auch die gasförmigen Verunreinigungen als chemische Agentien das Plasma so zu beeinflussen, daß es eben mit zwingender Notwendigkeit reagiert bei einer Beleuchtungsintensität, bei der chemisch unbeeinflußtes Plasma derselben Pflanzen noch keine Spur einer Reizung aufweist.

Es ist das eine Anschauung, die sich unmittelbar aus der Wiesner'schen Auffassung der photomechanischen Induktion ergibt und die — eine »chemische Auffassung« — um so berechtigter erscheint, als tatsächlich die interessanten chemischen Analysen von Prianischnikow[3] ergeben haben, daß Pflanzen, die in Laboratoriumsluft gewachsen waren (er untersuchte *Phaseolus multiflorus*-Keimlinge), überhaupt eine andere Zusammensetzung aufweisen als die in reiner Luft.

Im zweiten Teile seiner Monographie, p. 25, berichtet Wiesner von neuen Versuchen über Induktion mit intermittierender Beleuchtung, die es gleichgültig erscheinen lassen, ob man einen Keimling 25 Minuten kontinuierlich oder je

[1] Baker zitiert nach H. Klinger V. v. Richter's Lehrbuch der anorganischen Chemie, 11. Aufl., 1902, p. 45.

[2] P. Lenár und V. Klatt, Über die Erdalkaliphosphore. P. Drude's Annalen der Physik, 1904, Bd. 15, und V. Klatt und P. Lenard, Wied. Ann., Bd. 38, 1889, p. 90.

[3] D. Prianischnikow, Zur Frage der Asparaginbildung. (Vorläufige Mitteilung.) Ber. der deutsch. bot. Gesellsch., 1904, XXII., p. 39.

1 Sekunde beleuchtet und dann 2 Sekunden verdunkelt und diese Prozedur 25 Sekunden lang wiederholt.

Bei *Vicia sativa* erwiesen sich als Optimum der Induktionszeit bei 1·5 *m* Entfernung von der Flamme 35 Minuten, was bei Wiesner's Normalflamme von 6·5 Walratkerzen der induzierenden Lichtintensität von 0·444 W. E.[1] oder 0·003 W.K. entspricht. Bei 11 Minuten 20 Sekunden bekam er mit derselben niedrigen Lichtintensität kein Resultat mehr. Bei meinen Versuchen aber reagierten die Wicken noch auf eine Lichtintensität von 0·00167 beziehungsweise 0·00139 N. K. binnen 5 Minuten. Daß diese große Empfindlichkeit der Wicke eben wieder nur auf Rechnung der Laboratoriumsluft zu setzen ist, ist zweifellos und so gäbe es noch eine Fülle von Fragen, die sich dem Beobachter bei der Wiederholung der schönen Experimente von Wiesner aufdrängen, wenn man mit der durch den Gedanken an die Laboratoriumsluft beeinflußten Fragestellung an die Arbeit geht.

5. Bestimmung der Lichtintensitäten.

Man vergleiche dazu Protokoll Nr. 2.

Wiesner[2] hat zum ersten Male gezeigt, daß man die heliotropische Empfindlichkeit im Vergleiche zur Intensität des Lichtes zahlenmäßig bestimmen kann.[3] Er benutzte dazu eine Gasflamme von genau 6·5 Walratkerzen, wobei er die Lichtintensität bei 1 *m* Entfernung willkürlich gleich 1 annahm. Die Lichtintensitäten wurden unter Berücksichtigung des Satzes, daß die Intensität der Beleuchtung dem Quadrate der Entfernungen umgekehrt proportional ist, zahlenmäßig festgestellt.

Hier interessieren uns nur die erhaltenen unteren Grenzen und da wieder bloß die für *Vicia sativa* und *Vicia Faba;* für jene gibt Wiesner den Wert »jedenfalls bedeutend unter 0·008«, für diese 0·012 (nach Figdor[4] 0·0802 N. K.) an.

[1] W. E. = Wiesner's Einheiten.

[2] J. Wiesner, Die heliotropischen Erscheinungen, l. c., p. 40; vergl. auch W. Figdor, l. c., p. 5.

[3] J. Wiesner, l. c., p. 35.

[4] W. Figdor, l. c., p. 5.

Schon daraus ergibt sich wieder die Folgerung von der verschiedenen Empfindlichkeit der Wickenspezies für das Licht. Nach p. 38 reichten die Lokalitäten des pflanzenphysiologischen Institutes nicht aus, um die untere Intensitätsgrenze, auf die *Vicia sativa* noch reagiert, zu ermitteln. In den neuen Räumlichkeiten dieses Institutes in Wien führte W. Figdor neue Versuche in der angegebenen Richtung durch, bei denen er, weil von vorneherein auf die Ermittelung der geringsten Intensitäten, die noch einen heliotropischen Effekt erzielen konnten, ausgehend, in der Wiesner'schen Versuchsanstellung zunächst die starke Leuchtflamme durch einen Mikrobrenner ersetzte. Dessen Leuchtintensität wurde mit dem Bunsen'schen Photometer bestimmt und die Intensitäten der Erleuchtung an den Stellen von 50 zu 50 *cm* von der Flamme aus berechnet. Die Keimlinge wurden so gesät, daß sie sich nicht behinderten und gegenseitig beschatteten. Der Moment der Beobachtung stellte gleichzeitig den des Versuchsabschlusses vor, wodurch Fehler, die einer photomechanischen Induktion zuzuschreiben gewesen wären, gänzlich ausgeschlossen waren.

Das auf *Vicia sativa* bezügliche Resultat lautet:[1] »Die untere Grenze der heliotropischen Empfindlichkeit liegt zwischen den Lichtintensitäten 0·0025574 und 0·0013048 Normalkerzen«. Die größte Empfindlichkeit fand Figdor bei *Amaranthus melancholicus ruber (Hortorum)*, *Papaver paeoniflorum* und *Lunaria biennis*, nämlich kleiner als 0·0003262 Normalkerzen.

Wichtig erscheint für unsere Frage die Erwähnung von dem Auftreten der undulierenden Nutation (p. 2), die Bemerkung von den möglichst gerade gezogenen Keimlingen der Wicke (p. 5), den »mannigfachen Nutationen« bei *Impatiens Balsamina* (p. 6) u. s. f., die sich ja aus der Verwendung eines »mit Leuchtgas gespeisten Mikrobrenners« (p. 3) vollkommen erklären.

Wiesner[2] hat nun im Veröffentlichungsjahre der Figdor-schen Arbeit einige sehr interessante Berechnungen über die

---

[1] W. Figdor, l. c., p. 6.

[2] J. Wiesner, Versuch einer Bestimmung der unteren Grenze der heliotropischen Empfindlichkeit nebst Bemerkungen zur Theorie des Heliotropismus. Österr. bot. Zeitschr., 1893, Nr. 7, p. 233.

chemische Intensität des Lichtes mitgeteilt, die bei Pflanzen, wie den erwähnten, noch Heliotropismus hervorruft.

Wie aus seiner Monographie über den Heliotropismus bekannt ist, werden bei niederen Lichtintensitäten alle, selbst sehr lichtempfindliche Pflanzenorgane, die bei größeren Lichtstärken auch auf Rot-Orange reagieren, nur in stark brechbarem Lichte heliotropisch. Da nun das Gaslicht außerordentlich arm an sogenannten chemischen Strahlen ist, erhellt, daß die faktische Empfindlichkeit reizbarer Pflanzenorgane außerordentlich kleinen Intensitätswerten entsprechen muß, wenn man die chemische Intensität der Gasflamme bei dem gefundenen Grenzwerte berechnet.[1]

Bei Verwendung einer bestimmten Flamme betrug die Lichtintensität in der Distanz von 10 *cm* 1·598 Meterkerzen und die chemische Intensität $\frac{1}{7000} = 0\cdot000143$ der Bunsen-Roscoe'schen Einheit.

Aus diesen Werten berechnete nun Wiesner die chemische Lichtintensität, auf die Wickenkeimlinge noch reagieren, mit 0·000.000.116, bezogen auf die Bunsen-Roscoesche Einheit; für *Amaranthus* ergab sich gar die Zahl 0·000.000.026. Der berechtigte Schluß lautet, daß die Pflanzen »noch auf Bruchteile von Millionstel der Bunsen-Roscoe'schen Einheit reagieren«.[2]

Läßt man die chemische Intensität aus dem Spiele und beachtet bloß die in Normalkerzen ausgedrückten Werte, so erscheinen die von mir verwendeten Intensitäten noch bedeutend kleiner als die Wiesner's und Figdor's, wenn die Normalkerzen Figdor's und die Meterkerzen Wiesner's sowie die von mir zur Bestimmung benützten »Normalkerzen« als gleich lichtstark angesprochen werden dürfen.

Leider haben weder Figdor noch Wiesner die Stärke des verwendeten Mikrobrenners angegeben.

Die von mir berechneten Lichtintensitäten, auf welche Futter- und Sandwicken, *Vicia sativa* L. und *Vicia villosa*

---

[1] J. Wiesner, l. c., p. 234 und 235.

[2] J. Wiesner, l. c., p. 235.

Roth., in Laboratoriumsluft ungemein stark und *Fu* in reiner Luft noch deutlich reagieren, lauten gegenüber 0·0013048 N. K. Figdor's:

Intensität		Protokoll	Anmerkung
0·000.0002	N. K.	1 u. 2	Versuche mit Gasflammen
0·000.00023	»	3	Lichtintensitätsdifferenz beim photometrischen Versuche
0·000.0002	»	4	Für *Fu* } beim Versuche mit den phosphoreszierenden Substanzen
0·000.0004	»	4	» *Sa* }
0·000.0007	»	7	Versuch mit einer Leuchtbakterienkultur von 0·00018 N. K. auf 16 *cm* Distanz
Die *Vicia villosa* reagiert in reiner Luft nicht mehr auf die Lichtintensität von			
0·000.000.2	N. K.	1 u. 2	Versuche mit Gasbrennern und
0·000.000.23	»	3	Photometrischer Versuch
Bei Induktionsversuchen mit 5 Minuten-Induktion erzeugten die Intensitäten:			
0·00167	N. K.	5 u. 6	Bei *Sa* } in Laboratoriumsluft ungemein klare,
0·00139	»	»	» *Fu* }
in reiner Luft keine Resultate, ja selbst			
0·00443	N. K.	5 u. 6	bei *Sa* } konnten bei diesen Pflanzen in reiner Luft in derselben Zeit Heliotropismus nicht induzieren.
0·00360	»	»	» *Fu* }

Aus diesen Zahlen geht zunächst wiederum unzweideutig hervor der fördernde Einfluß, den die Laboratoriumsluft bei der

heliotropischen Krümmung ausübt. Ebenso macht sich der wesentliche Unterschied in der Empfindlichkeit beider Wicken gegen Lichtreize und Laboratoriumsluft geltend.

Da ich bei der Besprechung der verschiedenen Versuche darauf genauer eingegangen bin, mag mit diesen kurzen Bemerkungen auf das Gesagte verwiesen sein. Im besonderen beachte man den Schluß des Abschnittes »Versuche mit phosphoreszierenden Substanzen« und »Induktionsversuche«.

Dagegen ergeben sich hier unüberbrückbare Differenzen in den Werten, die Wiesner und Figdor einerseits, andrerseits ich erhalten haben. Wenn der Grund nicht in einer anderen Bewertung der Normalkerze oder in einem minder empfindlichen Photometer, oder in der Schwierigkeit liegt, von eindeutigen Resultaten zu reden, wenn man mit allerlei Nutationen rechnen muß, oder sich die Unterschiede aus meinen meist stark blauen Lichtquellen erklären, dann bleibt nur noch eine Vermutung, da die auffallende Übereinstimmung aller bei so verschiedenen Lichtquellen ermittelten Werte einen erheblichen Fehler in der Berechnung nicht wahrscheinlich macht, daß sich Wicken, die in Laboratoriumsluft ausgekeimt sind, wie die Wiesner's und Figdor's, gegen Lichtreize weniger empfindlich erweisen als solche, die, wie meine, aus reiner Luft gebracht, plötzlich der Wirkung der Laboratoriumsluft vor einer Lichtquelle ausgesetzt werden.

Ich habe in der Tat bei den Versuchen über Geotropismus allein öfters eine solche gesteigerte Empfindlichkeit beim Übertragen von Pflanzen aus der reinen in die unreine Luft gegenüber solchen, die durchaus in unreiner blieben, zu sehen vermeint, doch niemals größeren Wert darauf gelegt, so daß ich auch keine mitteilbaren Notizen darüber besitze. Jedenfalls aber wäre es von Wert, wenn hier mit einer neuen, freilich etwas mühsamen Arbeit eingesetzt würde, die gewiß zur Klärung dieser Frage führen müßte.

Auffallend hoch erscheinen die bei den Bakterienversuchen ermittelten Intensitätsangaben, obwohl sie noch immer unvergleichlich tiefer sind als die Figdor's und Wiesner's.

Die Empfindlichkeitsgrenze scheint hier für Versuche mit *Sa* und *Fu* auch in unreiner Luft durch die Zahl 0·0000007 N.K.

fast erreicht zu sein, jedenfalls liegt sie nicht mehr weit davon nach abwärts, da 0·000.000.46 N. K. keinen Heliotropismus mehr hervorruft.

Ganz präzise Resultate erzielte Molisch[1] bei etwas höherer Lichtintensität. Natürlich würde auch hier noch bei genauen darauf abzielenden Versuchen die Empfindlichkeitsgrenze für *Sa* in unreiner Luft höher gefunden werden als für die *Fu.*

Die Futterwicke reagiert in reiner Luft kaum mehr auf 0·000.0007 N. K. Dieser Unterschied zwischen Bakterienlicht und den anderen Lichtquellen muß auffallen, um so mehr als deren Werte ungemein gut miteinander stimmen. Diese scheinbare Erhöhung der Empfindlichkeitsgrenze dürfte sich, da man kaum von »besserer Luft« gerade während der Bakterienlichtversuche sprechen kann — vergl. die sonstige Versuchsanstellung — aus dem Mangel eines großen Teiles der chemisch wirksamen Strahlen des Bakteriumspektrums erklären, die bekanntlich die heliotropisch wirksamsten sind.

6. Versuche mit Leuchtbakterien.

Molisch[2] hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, daß Keimlinge der Wicke, Erbse etc. und Fruchtträger von *Phycomyces nitens* der Einwirkung der Strahlen von Leuchtbakterienkulturen ausgesetzt, sich zu dieser Lichtquelle hinwenden.

Der verwendete Leuchtorganismus war das *Bacterium phosphoreum* (Cohn) Molisch, das wegen seiner großen Leuchtkraft und der Fähigkeit, durch Wochen seine Leuchtkraft sozusagen unvermindert beizubehalten, ausgezeichnet ist. Die gewöhnliche Kulturform: Strichkulturen in der Petrischale oder in Eprouvetten; der Nährboden für den Leuchtorganismus Glyzerin-Pepton-Gelatine.[3]

Die gewöhnliche Distanz der in einer Reihe in einem Blumentopfe gesetzten, im Glashause zum Auskeimen gebrachten, mithin vollkommen geraden und schlanken Versuchskeimlinge betrug bei Molisch's Experimenten etwas weniger

[1] H. Molisch, I., l. c., p. 143.
[2] H. Molisch, I., l. c., p. 141.
[3] H. Molisch, II., l. c., p. 95.

als 10 *cm.* Daß der Heliotropismus der Keimlinge im Laboratorium zweifellos eintrat, zeigt schon die der Arbeit beigegebene Photographie. Auf die auffallende Tatsache vom Ausbleiben des Effektes in der reinen Luft des Gewächshauses hat Molisch bereits aufmerksam gemacht.

Bei seinen weiteren Untersuchungen, besonders der Leuchtbakterien im Hafen von Triest,[1] gelang es ihm, eine *Pseudomonas* zu finden, die so intensiv leuchtet, daß es gelingt, ihr Licht in ein Spektrum aufzulösen, das für unser Auge deutlich farbig erscheint. Es ist das der erste Fall, wo dies gelang, und die *Pseudomonas lucifera* der stärkst leuchtende, derzeit bekannte pflanzliche Mikroorganismus. Von der Dauer des Leuchtens sagt Molisch, es währe mit abnehmender Intensität etwa acht Tage. Da nun bei meinen heliotropischen Versuchen in der Regel bloß eine Versuchsdauer von zwei Tagen in Betracht kam, schien mir dieser Lichtorganismus auch noch ein Hinausgehen über die von Molisch für *Bacterium phosphoreum* angegebene Grenzdistanz zu versprechen.

Daß ich mich hierin nicht getäuscht habe, beweist ein Blick auf das Protokoll Nr. 7.

Da, wie aus den Versuchsaufzeichnungen hervorgeht, der große Längen- und Dickenunterschied zwischen den Pflanzen in reiner und unreiner Luft wieder auftrat, auch die Winkel, welche die verschiedene heliotropische Empfindlichkeit in reiner und unreiner Luft derselben und die der verschiedenen Wickenspezies in unreiner Luft illustrieren, mit der erfahrungsmäßigen Deutlichkeit zur Geltung kamen, verzichtete ich in diesem Fall auf eine Messung derselben, um gleichzeitig mit dem relativ reichlichen Material eine andere Frage zu beantworten.

Versuche über Chlorophyllbildung im Bakterienlichte.

(Im besonderen im Lichte der *Pseudomonas lucifera* Molisch.)

Bekanntlich hat Molisch[2] auf Grund seiner genauen Experimente im Bakterienlichte mit *Bacterium phosphoreum*

[1] H. Molisch, V. Die Leuchtbakterien im Hafen von Triest. Diese Sitzungsber., Bd. CXIII, Abt. I, Oktober 1904.

[2] H. Molisch, I., l. c., p. 7 [147].

(Cohn) Molisch weder an Gersten- noch an Kressenkeimlingen, die er so nahe wie möglich an die Leuchtkulturen heranbrachte und deren Lichte tagelang aussetzte, auch nur eine Spur von Ergrünen wahrnehmen können, ebenso versagten alle Versuche, mit dem Zeiss'schen Spektralapparat im Alkoholextrakte der Keimlinge eine Spur, ja nur eine Andeutung des Chlorophyllabsorptionsstreifens zwischen *B* und *C* zu sehen, von den anderen Streifen natürlich nicht zu reden.

Issatchenko[1] hat, angeregt durch die Untersuchungen von Molisch, besonders die Wirkung des Leuchtbakterienlichtes auf die Chlorophyllbildung studiert und ist bei Hafer zu einem den Molisch'schen Befunden gerade entgegengesetzten Resultat gekommen.

Es schien mir nun ungemein passend, meinen Versuch zur Kontrolle der Streitfrage auszunützen.

Das Material an Keimlingen jedes Blumentopfes wurde also, da die Keimlinge ja längere Zeit dem Bakterienlichte ausgesetzt waren, für sich mit gut gereinigter Schere, in mit Benzin und Alkohol gewaschenen Porzellanreibschalen mit ebenso gereinigtem Porzellankolben in 96% Alkohol bei dem schwachen Lichte einer roten Lampe in der Dunkelkammer zerrieben, hier durch entsprechend gereinigte Glastrichter filtriert und das Filtrat darauf sofort im Zeiss'schen Spektralapparate untersucht.

Der Erfolg der Untersuchung war die Feststellung des vollkommenen Fehlens von Chlorophyll. Dieses Resultat fand sich bei den Pflanzen aus der reinen Luft ebenso wie bei denen aus der unreinen. Wenn nun auch dieser eine Versuch mit den vier gleichsinnigen Ergebnissen noch nicht als Entscheidung in der obigen Frage gelten kann, so erscheint er doch als wesentliche Stütze für Molisch's Ansicht.

Wir sehen eben, daß die verwendete Lichtintensität, beziehungsweise die im Bakterienlichte enthaltenen Strahlen wohl ausreichend waren, um den Heliotropismus hervorzurufen, aber keineswegs, um Chlorophyll zu bilden.

---

[1] M. B. Issatchenko, Quelques expériences avec la lumière bactérienne. Zentralbl. für Bakt. etc., II. Abt., X. Bd., 1903, p. 497 bis 499.

Die Lichtstärke einer *Pseudomonas*-Kultur ergab sich mit 0·00018 N. K., woraus für die Distanz von 16 *cm* als heliotropismusauslösende Kraft eine Intensität von

0·000.000 7 N. K.

resultiert. Diese vermag ebensowenig wie die gewiß bedeutend größere in den Versuchen von Molisch, Ergrünen hervorzurufen.

0·000.0007 N. K. dürfte wohl die Grenze der heliotropischen Empfindlichkeit der *Vicia sativa*-Keimlinge im Bakterienlichte darstellen, da bei 20 *cm* Distanz, entsprechend 0·000.000.46 N. K. kein heliotropischer Effekt mehr erzielt wurde.

7. Ein neuer Thermostat für Lichtkulturen von Molisch.

Die vielfach verwendeten Thermostaten leiden gewöhnlich an dem Mangel, daß sie kein Licht zu den Kulturen zutreten lassen und, da ein Zimmer mit konstanter Temperatur[1] sich nicht leicht überall herstellen läßt, benützte ich einen von Molisch konstruierten Lichtthermostaten, dessen Beschreibung ich aus Aufzeichnungen meines Lehrers mit seinen Worten mir wiederzugeben erlaube.

In einem verweise ich auf die Photographie Fig. 9.[2]

»Der auf vier Holzfüßen stehende Thermostat besitzt einen doppelten, aus zwei durch einen 9 *cm* dicken Luftraum getrennten Kupferplatten bestehenden Boden. Auf der oberen Kupferplatte steht ein 53 *cm* breiter, etwa ebenso hoher und 41 *cm* tiefer, mit Holzrahmen zusammengehaltener Glaskasten. Darüber steht ein zweiter, ebenso gestalteter Glaskasten, um die Wärmeausstrahlung zu mäßigen. Der Zwischenraum zwischen den Glaswänden des äußeren und inneren Kastens beträgt 5 *cm*.

Um in den Kulturraum zu gelangen, dienen die Glastüren t und t_1. Rechts befindet sich ein Reichert'scher Thermoregulator in einem besonderen

---

[1] W. Pfeffer, Ein Zimmer mit konstanten Temperaturen. Ber. der deutsch. bot. Gesellsch., Bd. XIII, 1895, p. 49 bis 54.

[2] Für die Herstellung dieser Photographie danke ich meinem Freunde Ruttner herzlich.

Kästchen, von welchem durch eine besondere Öffnung das winkelig abgebogene Quecksilberrohr fast bis in die Mitte des Kulturraumes hineinreicht. Es ist hier durch ein Metallrohr vor dem Zerbrechen geschützt.

Der Kulturraum enthält mehrere beliebig verstellbare Seitenleisten, auf welche Glasplatten zur Aufnahme der Kulturobjekte gelegt werden.

Die Beheizung des Thermostaten vermitteln ein bis drei unterhalb des Kupferbodens angebrachte Bunsenbrenner.

Die Temperatur in den verschiedenen Etagen des Kulturraumes ist verschieden groß, sie ist in den höheren niederer als in den tieferen. Dies ist für den Experimentator sehr erwünscht, weil er dann ähnlich wie in einem Zimmer mit konstanter Temperatur gleichzeitig bei verschiedenen Temperaturen arbeiten kann«...

»Dieser Apparat steht bereits seit 6 Jahren in meinem Institute in Verwendung und hat verschiedenen Versuchen mit Vorteil gedient«.

Dieser Beschreibung hätte ich nur noch hinzuzufügen, daß der Apparat, vorausgesetzt, daß er sich in einem, Temperaturschwankungen wenig ausgesetzten, also etwa ungeheitzten Raume[1] befindet, tage-, ja wochenlang, trotz der relativ mangelhaften Umkleidung mit schlechten Wärmeleitern, die Temperatur konstant erhält.

Wesentlich für die Haltbarkeit des Apparates sind Bohrlöcher, die das gebildete Kondensationswasser ablaufen lassen. Ich bin überzeugt, daß bei Wahl geeigneten Materials auch jene Mängel, die sich durch das Verquellen des Holzes bei langem Gebrauch ergeben und ab und zu ein Austrocknenlassen des Kastens notwendig machen werden, entfernt werden können.

Endlich möchte ich darauf hinweisen, daß sich gerade dieser Doppelglaskasten wie selten einer dazu eignet, die Darwin'schen Zeichengitter anzubringen, wodurch man bei Anbringung der Gitter innen und außen die Beobachtungsrichtung des Auges genau fixieren kann, wie dies beim Studium der Zirkumnutationsbewegung notwendig war.[2]

Bei meinen heliotropischen Versuchen stand die Lichtquelle in der Höhe der Keimlinge natürlich außen. Die Beheizungsflamme war bei den heliotropischen Versuchen durch schwarzes Papier vollkommen verdeckt.

---

[1] Vergl. Fr. Czapek, Ein Thermostat für Klinostatenversuche. Ber. der deutsch. bot. Gesellsch., 1900, XVIII., p. 133.

[2] Oswald Richter, l. c., p. 188.

Über die Spiegeleinrichtung bei Versuchen mit Beleuchtung von unten vergleiche Abschnitt *C*.

Miquel hat zuerst[1] einen Lichtthermostaten konstruiert, seine »kleine heizbare gläserne Dampfkammer«, die ihm bei seinen Versuchen über die Wirkung der Temperatur auf das Diatomeenwachstum treffliche Dienste leistete.

Die Beschreibung des Lichtthermostaten von Molisch zu bringen, schien mir trotzdem umso geeigneter, als der von Molisch konstruierte, in seiner vielfachen Verwendbarkeit meines Wissens einzige Apparat der erste in seiner Art ist.

B. Zusammenwirken von Heliotropismus und Geotropismus.

Die beschriebenen Erscheinungen: ein Spezialfall der anästhesierenden Wirkungen der Narkotika.

Zu wiederholten Malen konnte ich bereits auf Bemerkungen Wiesner's[2] aufmerksam machen, die auf seine aus seinen Experimenten sich unmittelbar ergebenden Anschauungen über das Zusammenwirken von Heliotropismus und Geotropismus zurückzuführen sind. Im besonderen kommt es mir hier auf seine auf p. 55 und 56 geäußerten Ansichten und auf die auf p. 24 meiner Arbeit mitgeteilte Bemerkung an.

Darnach braucht es 1 Stunde 15 Minuten, um bei *Vicia sativa* den Geotropismus zu induzieren, während nach 35 Minuten-Induktion der heliotropische Effekt bereits eintritt und bei konstanter, relativ schwacher Beleuchtung vermag die Wirkung des Lichtes die der Schwerkraft wenigstens bei *Vicia sativa* vollkommen aufzuheben.[2]

Inwieweit diese Meinung noch bei Anwendung sehr starker Lichtintensitäten richtig sein mag, muß vorläufig dahingestellt bleiben, obwohl nach dem bisher Mitgeteilten auch für diesen Fall neue Untersuchungen in reiner Luft am Platze sind, soweit sie aber niedere betreffen und die Lichtintensitätsgrenzen, bei

---

[1] P. Miquel, De la culture artificielle des Diatomées. Le Diatomiste, Bd. I, 1892, p. 97.

[2] Wiesner's Monographie, l. c., p. 64.

denen noch Heliotropismus beobachtet wird, in Betracht ziehen, ist für das Auslöschen der geotropischen Empfindlichkeit nicht das Licht, sondern sind die Spuren der gasförmigen Verunreinigungen der Luft veranwortlich zu machen.

Czapek[1] vertritt in seiner im Wiener pflanzenphysiologischen Institute durchgeführten Arbeit in Bezug auf das Zusammenwirken des Geotropismus und des Heliotropismus im besonderen auch bei *Vicia sativa* die von Wiesner geäußerten Anschauungen. Es gelang ihm, Keimlinge ausfindig zu machen, die »gewissermaßen als gleichmäßig heliotropisch und geotropisch empfindlich betrachtet werden können«,[2] nämlich solche von »*Avena sativa*, *Phalaris canariensis*, *Lepidium sativum*, *Sinapis alba*«, die nun im weiteren Verlaufe der Arbeit die bevorzugten Experimentalobjekte bildeten. Es wäre gewiß sehr interessant, nachzusehen, ob dieses gleichartige Reagieren der genannten Gewächse auf Licht- und Schwerkraftreize auch in der reinen Luft eines Gewächshauses beobachtet würde oder ob in reiner Luft der eine oder andere Tropismus gefördert erschiene. Man könnte sich nämlich auch in Fällen, wie die genannten, ganz gut vorstellen, daß die gasförmigen Verunreinigungen der Luft einen unter natürlichen Verhältnissen vorhandenen starken Geotropismus so hemmen können, daß ein gleichmäßiges Reagieren auf Licht- und Schwerkraftreiz im Laboratorium vorgetäuscht werden könnte.

Mit dem Hinweis auf die Laboratoriumsluft erscheint auch der Standpunkt fixiert, den man vorläufig den Oltmanns'schen[3] Untersuchungen gegenüber einzunehmen hat. Vielleicht dürfte auch der Umstand, daß nach Stahl[4] *Adoxa*-

»Rhizome, die bei einseitiger Lichtzufuhr auf dem Klinostaten einer langsamen Rotation um eine horizontale Achse ausgesetzt waren, bei Ausschluß der geotropischen Krümmungen lebhafte Nutationen ausführen, die sich aber von dem Lichteinfall vollständig unabhängig erwiesen«,

---

[1] Fr. Czapek, Über Zusammenwirken von Heliotropismus und Geotropismus. Diese Sitzungsber., Bd. CIV, Abt. I, März 1895, p. 1 [337].

[2] Fr. Czapek, l. c., p. 9 [345].

[3] Fr. Oltmanns, l. c.

[4] E. Stahl, Einfluß des Lichtes auf den Geotropismus einiger Pflanzenorgane. Ber. der deutsch. bot. Gesellsch., II., 1884, p. 387.

durch die Wirkung der gasförmigen Verunreinigungen der Luft seine Erklärung finden.

Es sei mir auch gestattet, der »Veränderungen, welche gänzlich unberechenbare Folgen hatten«, zu gedenken, die Vöchting[1] bei seinen Experimenten mit Blüten und Blütenstielen hatte, die er zur weiteren Beobachtung im »Laboratorium« hielt. »Manchmal richteten sich die Stiele lediglich empor, dann wieder erhoben sie sich, um nun ganz unregelmäßige Bewegungen zu beschreiben.«[2] »Ähnliche Beobachtungen machte Pfeffer.«[3]

Daß übrigens das Licht, ja auch Temperaturschwankungen allein einen auffallenden Einfluß auf die Lage der Organe der Pflanzen gegen die Schwerkraft haben, beweisen die Vöchting-schen Untersuchungen in der freien Natur[4] und im Gewächshause und die Stahl's[5] und Lidforss',[6] soweit sie nicht im Laboratorium durchgeführt sind. Mit derselben Beschränkung wären hier auch F. Noll's[7] Untersuchungen über heterogene Induktion zu nennen.

Es ist nun die Frage, ob sich eine solche Erklärung, wie sie zuerst Molisch[8] für die heliotropischen Effekte bei Vicien und dergleichen im Laboratorium gegeben hat und ich sie durchgehends vertreten habe, mit anderen schon bekannten Tatsachen in Einklang bringen läßt.

Nach Neljubow finden sich in der Laboratoriumsluft Spuren von Leuchtgas mit seinen üblichen Beimengungen von

---

[1] H. Vöchting, Über den Einfluß der Wärme auf die Blütenbewegungen von *Anemone stellata*. Jahrb. für w. B., Bd. 21. 1890, p. 294.

[2] H. Vöchting, l. c., p. 295.

[3] W. Pfeffer, zitiert nach Vöchting, l. c., p. 294.

[4] H. Vöchting, l. c., p. 285. — Über den Einfluß niedriger Temperatur auf die Sproßrichtung. Ber. der deutsch. bot. Gesellsch., Bd. 16, 1898, p. 37.

[5] E. Stahl, l. c.

[6] Bengt. Lidforss, Über den Geotropismus einiger Frühjahrspflanzen. Jahrb. für w. B., Bd. 38, 1903, p. 343.

[7] F. Noll, Über heterogene Induktion. Leipzig, Verlag von Wilh. Engelmann, 1892, p. 57. — Über Geotropismus. Sep. aus: Jahrb. für w. B., 1900, Bd. XXXIV, Heft 3, p. 496.

[8] H. Molisch, III., L. c., p. 7.

Äthylen, Acethylen, Benzol, Xylol u. s. f. Alle diese Stoffe gehören aber nach den neuesten Untersuchungen von Overton [1] zu den Anästhetizis, deren reizaufhebende Wirkung ja allgemein bekannt ist.

In einer kleinen Arbeit habe ich [2] die einschlägigen Erfahrungen zusammengestellt. Es sei auf sie und auf Pfeffer's [3] Pflanzenphysiologie in Betreff der Literatur verwiesen.

Besonders beachtenswert sind für unsere Frage die Untersuchungen von Bert,[4] wonach bei *Mimosa pudica* wohl die Reizbarkeit gegen Berührung in Äther- oder Chloroformatmosphäre aufgehoben wird, ohne aber die für das Licht zu sistieren. In ähnlicher Weise zeigt sich das Plasma von Wurzeln, wie Czapek [5] nachgewiesen hat, chloroformiert, nicht mehr fähig, die chemischen Umsätze zu besorgen, die zum Wachstume notwendig sind, während es sehr wohl noch im stande ist, den geotropischen Reiz zu perzipieren. Hier wären auch die Untersuchungen von Rothert [6] zu nennen, die beweisen, daß selbst bei einzelligen Pflanzen die verschiedenen Lebensvorgänge durch Anästhetika verschieden beeinflußt werden: es kann die Lichtempfindlichkeit schon lange sistiert sein, während die Bewegungsfähigkeit noch unbeeinflußt ist.

Von diesem Standpunkte aus stellen sich die gelegentlichen Beobachtungen von Molisch [7] und meine Untersuchungen über das verschiedene Verhalten von Pflanzen in reiner und unreiner Luft vor einer Lichtquelle dar als Spezialfall der Wirkung der Anästhetika auf das Plasma und der Hemmung von dessen Empfindlichkeit gegen einen Faktor, nämlich den

---

[1] E. Overton, Studien über Narkose. Jena, Verlag Gustav Fischer, 1901.

[2] Oswald Richter, Narkose im Pflanzenreiche. »Lotos«, 1905, Nr. 2, p. 7.

[3] W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie. Leipzig 1904, 2. Aufl., Bd. 2, p. 534.

[4] P. Bert, vergl. Note 2.

[5] Fr. Czapek, vergl. Note 2.

[6] W. Rothert, vergl. Note 2.

[7] H. Molisch, I., L. c. — III., L. c.

geotropischen und bilden eine Ergänzung der Beobachtungen von Neljubow, Singer und mir.

Seit Molisch's Versuchen über Aërotropismus,[1] wo er ganz abnorme Krümmungen an Wurzeln in einer Atmosphäre bemerkte, die nur Spuren von Leuchtgas enthielt, sind dies wieder die ersten Befunde in dieser Richtung, die nämlich gerade auf ein Aufheben der geotropischen Empfindlichkeit durch Anästhetika hindeuten, denn aus Czapek's Befunden geht hervor, daß die Wurzelspitze die Fähigkeit, sich gegen den Erdmittelpunkt zu orientieren, noch beibehält, wenn sogar die Wachstumsfähigkeit durch die Narkotisierung und auf deren Dauer aufgehoben ist.

Neu erscheint aber auch die ungewöhnliche Verdünnung, in der die Narkotika der Laboratoriumsluft noch ihren unzweideutigen Einfluß geltend machen.

Mit dem Auslöschen der Wirkung der geotropischen Komponente muß eine Steigerung der heliotropischen Empfindlichkeit Hand in Hand gehen. Es scheint schwer möglich, auch hier ein Analogon aus dem Gebiete der niederen Organismen zu bringen, denn selbst der Umstand, daß es Rothert[2] gelang, bei *Chlamydomonas* und *Gonium*, wie er sich ausdrückt, »durch Chloroform einen Umschlag der phototaktischen Stimmung aus negativer in positive zu bewirken«, das heißt »das Optimum der Lichtintensität für die Organismen durch das Chloroform zu erhöhen«, läßt sich nicht vollkommen in eine Parallele bringen, umso weniger, als sonst vielfach bei den anderen niederen Organismen eine Schwächung des phototropischen Effektes durch die Narkotika eintrat.

Zum Schlusse dieses Abschnittes möchte ich nun noch die Aufmerksamkeit auf die Photographien Fig. 7*a* und *b* und 8*a* und *b* und die Protokolle Nr. 8 und 9 lenken. Fig. 8*b* stellt Erbsenkeimlinge dar, die in Laboratoriumluft vor einer Gasflamme gezogen wurden, welche zunächst in der Höhe der

---

[1] H. Molisch, VI. Über die Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Wachstumsrichtung durch Gase (Aërotropismus). Diese Sitzungsber., Bd. XC, Abt. I, 1884, p. 188.

[2] W. Rothert, l. c., p. 42 und 67.

Keimlinge gehalten, diese zum Horizontalwachsen veranlaßte, worauf ihnen durch Spiegelwirkung von unten die Direktion nach abwärts gegeben wurde. Diese Keimlinge sind keineswegs schlaff und deshalb so herabhängend gewesen, vielmehr waren sie ungemein turgeszent.

Die Erklärung der zu stande gekommenen U-förmigen oder besser ↓∩|-Krümmung ist wieder in der Wirkung der Laboratoriumsluft zu suchen, die unter diesen Verhältnissen den negativen Geotropismus vollständig ausgelöscht hat, so daß sogar bei negativ geotropischen Organen eine scheinbar positiv geotropische Krümmung gegen die Lichtquelle zu stande kam. Ich bin überzeugt, daß man mit diesen Keimlingen »ohne Geotropismus« durch Beleuchtung von verschiedenen Richtungen die abnormsten Gestalten formen könnte.

H. v. Mohl [1] hat bereits bei Keimlingen der Kruziferen die Beobachtung gemacht, daß, wenn er sie in

»...einem mit Ausnahme des unteren Endes ringsum geschlossenen, im Innern schwarz angestrichenen Kasten, in welchen das Licht von unten her durch einen Spiegel geworfen wurde, in horizontaler Richtung aufhängte, durch diesen Einfluß des Lichtes die Wirkung der Schwere vollkommen überwunden werden kann, indem die Pflänzchen gezwungen wurden, ihren Stengel senkrecht nach unten zu wenden«.

Auch Müller (Thurgau)[2] und Czapek[3] haben diese Beobachtung gemacht.

»Danach überwiegt bei den meisten horizontal gelegten, von unten beleuchteten Keimpflanzen die Einwirkung des Lichtes über diejenige der Schwerkraft, sie krümmen sich nach unten«. [2]

Da besonders auch Wiesner,[4] der bei seiner Versuchsanstellung mit relativ kleinen Lichtintensitäten und mit den

[1] H. v. Mohl, Grundzüge der Anatomie und Physiologie der vegetabilischen Zelle. Aus Rud. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. Braunschweig, Verlag von Friedr. Vierweg & Sohn, 1851, p. 140.

[2] H. Müller (Thurgau), Über Heliotropismus. Flora, 1876, p. 94.

[3] Fr. Czapek, Über Zusammenwirken von Heliotropismus und Geotropismus. L. c., p. 27.

[4] Wiesner's Monographie, I., p. 56.

gleichen Experimentalobjekten arbeitete wie ich, zu der Anschauung von dem Ausgelöschtwerden des Geotropismus infolge günstiger Beleuchtung gelangte, die drei genannten Forscher ihre einschlägigen Resultate aber auf Grund von Laboratoriumsversuchen erhalten haben, glaube ich mich berechtigt, gerade bei diesen Ergebnissen an die Nichtberücksichtigung der Wirkung gasförmiger Verunreinigungen der Luft zu erinnern.

Läßt man Erbsenkeimlinge im Warmhaus des Gewächshauses bis zu einer Höhe von $1^1/_2$ *cm* austreiben und überträgt sie, nachdem man sie horizontal gelegt hatte, unter den gewohnten Vorsichten in die Dunkelkammer, gestattet der Laboratoriumsluft durch Heben der Glocke zu der einen Keimlingspartie den Zutritt, während die andere in der reinen Luft bleibt und stellt den Versuch in Molisch's Thermostaten ein, wobei durch Spiegelwirkung für eine schwache Beleuchtung von unten gesorgt wird, so wachsen die Keimlinge in der reinen Luft als existierte für sie die Beleuchtung nicht, die anderen aber, in der unreinen Luft, wachsen stark positiv heliotropisch nach abwärts (Fig. 7 *a* und *b*).

Dieses Versuchsergebnis tritt nur ein, wenn man gewisse Vorsichten gebraucht. Zunächst hatte ich einen gewöhnlichen Spiegel in den Thermostaten eingesetzt, der unter geeignetem Winkel in Anwendung gebracht, eine gerade Beleuchtung der horizontal gelegten Keimlinge von unten her ermöglichte, mußte aber bald von dessen Benützung Abstand nehmen, da nämlich binnen 24 Stunden etwa die Keimlinge in der verunreinigten Luft abgestorben waren. Bei der im Thermostaten herrschenden Temperatur verdampfte offenbar soviel Hg, daß die Keimlinge an Hg-Vergiftung starben. Es ist dies wieder ein Seitenstück zu früheren Versuchen[1] von mir, wo ich Bohnenkeimlinge im Dunkeln unter Glocken mit Hg-Abschluß hielt und unter diesen Umständen gleichfalls starke Hemmung des Längenwachstums und zweifellose Vergiftungserscheinungen, die einen tötlichen Ausgang hatten, beobachten konnte.

---

[1] Oswald Richter, l. c., p. 192.

Es mag hier nachgetragen werden, daß bereits vor mir Dafert[1] Ähnliches an grünen Gewächsen beobachtet hatte. Seine Versuchspflanzen, Keimlinge von *Triticum vulgare*, *Hordeum vulgare*, *Secale cereale*, *Avena sativa*, *Trifolium pratense*, *Picea vulgaris*, *Aster chinensis*, *Sinapis alba* und *Verbena officinalis* zeigten die größte Empfindlichkeit in den chlorophyllhaltigen Pflanzenteilen.

Als passenden Ersatz für einen amalgamierten Spiegel verwende man auch wegen der gedämpften Lichtwirkung eine gewöhnliche Glasscheibe, die man unterseits mit mattem schwarzem Papiere an den vier Ecken der rechtwinkeligen Scheibe unterklebt. Als Lichtquellen werden zweckmäßig zwei Brenner benützt, deren Spiegelbild genau unter die Keimlinge fällt. Der Thermostat ist natürlich mit Ausnahme jener Stelle, an der die Lichtstrahlen den Spiegel treffen, zu verdunkeln, wodurch die geeignete Spiegelwirkung erzielt wird. Die wirksame Lichtintensität betrug in den beschriebenen Versuchen 0·000.00041 N. K.

Schon nach zwei Tagen ist das Versuchsergebnis zweifellos. Auch bei diesen Experimenten erscheint es zweckmäßig, erst bei Versuchsschluß den Versuch anzusehen, weil eine Seitenbeleuchtung störende Induktionswirkungen zeitigen kann. Bei dem photographierten Versuche (Fig. 7*a* und *b*) verhielten sich die Durchschnitts-Längenzuwächse der Pflanzen in reiner, zu denen in unreiner Luft wie 15·14 : 2·2 *cm*, die entsprechenden Dicken wie 2·5 : 4·4 *mm* (Prot. Nr. 8).

Da nun auch aus dem zuerst beschriebenen Versuche klar die Notwendigkeit hervorgeht, den oft entscheidend eingreifenden Faktor der gasförmigen Verunreinigungen der Luft nicht übersehen zu dürfen (vergl. Prot. Nr. 9), habe ich, umso mehr als der Kontrollversuch (Fig. 8*a*) mit zunächst in verunreinigter Luft vor einer Lichtquelle horizontal gezogenen, dann aber in reiner[2] Luft von unten beleuchteten Keimlingen

---

[1] F. W. Dafert, Über die Quecksilbervergiftung grüner Gewächse. (Zeitschrift für das landwirtschaftliche Versuchswesen in Österreich, 1901, p. 1.) Ref. Bot. Zentralbl., 1901, LXXXVII., p. 29.

[2] Um vollkommen vergleichbare Resultate zu erhalten, wurden beide Glocken mit den horizontal gewachsenen Keimlingen unter Dunkelstürzen ins

den entsprechenden Gegensatz bildet, so daß ein zickzackförmiges Äußere entsteht, die auffallenden Keimlingsgestalten auch dieses Experimentes im Bilde festzuhalten versucht (Fig. 8*a* und *b*).

Über physiologische Nachwirkung der gasförmigen Verunreinigungen beim Zusammenwirken von Heliotropismus und Geotropismus.

Die eben beschriebenen Experimente erscheinen auch geeignet, aus ihnen einige Rückschlüsse auf die physiologische Nachwirkung der Laboratoriumsluft zu ziehen. Zwischen den Versuchen unter den beiden Glasglocken mit reiner Luft in den beiden aufeinander folgenden Experimenten besteht nur ein wesentlicher Unterschied, der nämlich, daß die Versuchspflanzen im zweiten Experimente zuerst durch längere Zeit in der Dunkelkammer im Thermostaten vor einer Lichtquelle horizontal gewachsen waren. Sie waren also durch längere Zeit den gasförmigen Verunreinigungen ausgesetzt worden, wobei ihnen gleichzeitig ein weiteres Wachstum in der Horizontalen gegen die Lichtquelle induziert wurde. Darauf wurden sie zum »Luftschöpfen« ins Glashaus übertragen und in reiner Luft neuerlich einer schwachen Beleuchtung von unten, wie die Pflanzen des ersten Versuches, ausgesetzt (Prot. Nr. 9).

Die Versuchsbedingungen für die horizontalen Stengelstücke unterschieden sich demnach jetzt theoretisch in gar nichts von denen bei den horizontal gelegten frischen Glashauspflanzen des ersten Versuches als durch den vorgängigen Aufenthalt der Versuchspflanzen in der unreinen Luft. Es war mit ihnen das gleiche Luftquantum abgesperrt, es traf sie dieselbe Lichtintensität und doch wuchsen alle nicht unter 90° aufwärts, sondern vielfach unter einem weniger steilen Winkel, so daß man zur Annahme berechtigt ist, daß die chemischen Veränderungen im Innern der Gewächse noch die Disposition gaben, trotz der geringen Lichtintensität auf das

---

Glashaus gebracht, dort gelüftet und, nachdem die Pflanzen so »frische Luft geschöpft hatten«, wieder unter Dunkelstürzen in die Dunkelkammer übertragen und daselbst zum Versuche mit der Beleuchtung von unten hergerichtet.

Licht zu reagieren oder aber, daß ihnen die Tendenz induziert worden war, dem zur Horizontalen gegebenen ursprünglichen Impulse zu folgen. Indem also die Pflanze dieses Bestreben hat, andrerseits aber dem immer stärker werdenden negativen Geotropismus Folge leisten muß, entstehen jene Zickzackgestalten, auf die bereits aufmerksam gemacht worden ist (Fig. 8*a*).

Nach diesen Überlegungen dürfte man daher nicht fehl gehen, wenn man im vorliegenden Falle von einer den Heliotropismus fördernden, dem Geotropismus entgegen wirkenden physiologischen Nachwirkung der Laboratoriumsluft spricht.[1]

C. Versuche über den Geotropismus.

Die Frage nach dem geotropischen Verhalten der Keimlinge in reiner und unreiner Luft war in den bisherigen Versuchen stets so innig mit dem heliotropischen verquickt, daß sie nicht getrennt behandelt werden konnte, weshalb sie überall gleich bei den betreffenden Versuchen mit erledigt wurde.

Hier soll nunmehr kurz jener Experimente gedacht sein, die, unter Ausschluß von Licht ausgeführt, lediglich nur auf die Darstellung der Beziehungen zwischen Geotropismus und den Verunreinigungen der Luft abzielten.

Neljubow[2] hat zuerst die von Wiesner,[3] Wyplel[4] und Rimmer[5] beobachtete horizontale Nutation der Wicken-, Erbsen- und Linsenkeimlinge auf die in der Laboratoriums-

---

[1] Es wäre gewiß eine interessante Arbeit, nachzusehen, inwieweit die Laboratoriumsluft auch den Heliotropismus und Geotropismus von Blättern beeinflußt (vergl. W. Rothert, Über Heliotropismus, Cohn's Beitr. z. Biologie der Pflanzen, 1896, VII. Bd., p. 25 und W. Figdor, Über Heliotropismus und Geotropismus der Gramineenblätter. Ber. der deutsch. bot. Gesellsch., 1905, XXIII., p. 182.

[2] D. Neljubow, l. c., p. 10 bis 11.

[3] J. Wiesner, Die undulierende Nutation der Internodien. Diese Sitzungsber., Bd. LXXVII, Abt. I, Jänner 1878.

[4] M. Wyplel, Beiträge zur näheren Kenntnis der Nutation. Österr. bot. Zeitschr., 1879, Nr. 1 und 2.

[5] Fr. Rimmer, l. c.

luft vorhandenen Spuren gasförmiger Verunreinigungen zurückgeführt.

»In den beschriebenen Erscheinungen lernen wir jetzt eine neue Wirkung der Gase — Acetylen, Äthylen und Leuchtgas — kennen; sie bewirken eine horizontale Lage der Triebe«.[1]

Anschließende Experimente hat Neljubow mit Pflanzen am Klinostaten in reiner und verunreinigter Luft gemacht und bereits der XI. Versammlung der russischen Naturforscher und Ärzte in Petersburg 1901 vorgelegt.

Versuche über den Geotropismus unter Berücksichtigung verschiedener Spezies der Versuchsobjekte hat er aber meines Wissens bisher noch nicht durchgeführt.

Da sich mit Bezugnahme auf meine Ausführungen über den Heliotropismus die ganze Versuchsanstellung fast von selbst versteht, kann ich mich diesbezüglich hier kurz fassen.

Schon eingangs erwähnte ich, daß die Versuche in Glasglocken mit Wasserabschluß mit und ohne Kalilauge gleich ausfielen, während auf der anderen Seite die mit gehobenen Glocken mit und ohne Filtrierpapier ein zusammengehöriges Versuchspaar darstellten. In der Folge habe ich stets die gehobenen Glocken innen ganz mit nassem Filtrierpapiere ausgekleidet, das durch einen Filtrierpapierstreifen mit einer unter den Keimlingen stehenden gefüllten Wasserschale in Verbindung stand und so dauernd naß gehalten wurde.

Diese Versuche bewiesen, daß weder der Transpirationsausschluß noch die Kohlendioxydanreicherung für den Versuchseffekt das Ausschlaggebende war.

Dennoch wurden die eigentlichen Experimente über den Einfluß der gasförmigen Verunreinigungen der Luft auf den Geotropismus folgendermaßen ausgestattet.

Glocke I stand in einer Keimschale mit Wasserabschluß, darunter waren zwei Glasschälchen, ein breiteres *a* und ein kleineres *b*.

In *a* wurde der Blumentopf so eingeklemmt, daß die Keimlinge horizontal zu liegen kamen.

Auf *b*, das mit der Mündung nach abwärts stand, kam ein aufrechtstehender Blumentopf mit der gleichen Anzahl von Keimlingen.

Diese wurden bei kleinen Samen in zwei Reihen von je 7 Keimlingen gesteckt. Bei den Untersuchungen mit *Fu* und *Sa* bestand eine Reihe aus *Fu*, die zweite aus *Sa*, wobei darauf Bedacht genommen wurde, daß die *Fu* beim Umlegen des einen Topfes die untere Reihe bildeten. Größere Samen, wie die der *Vicia Narbonensis* oder der *Vicia Faba* (größere und kleinere Varietät) mußten natürlich über den ganzen Topf verteilt gesetzt werden.

Glocke II. Auf einer Glasschale, die mit Wasser gefüllt war, standen zwei Gläschen *a* und *b*, über deren Verwendung oben erzählt wurde. In die Glasschale reichte ein nasser Filtrierpapierstreifen, der mit dem nassen Filtrierpapierbelag der Innenseite der Glasglocke in Verbindung stand und diesen naß hielt. Der Rand der Glasglocke griff über den der Glasschale, so daß zwischen beiden das Zuströmen der verunreinigten Luft möglich wurde.

Alle Versuche standen im dunklen Keimkasten. Das übrige ersieht man aus den Protokollen Nr. 10 und 11.

Was zunächst die beiden Wickenspezies, *Vicia sativa* und *villosa* anbelangt, so macht sich ein voller Parallelismus zum Verhalten derselben gegen das Licht geltend.

Vicia villosa ist eben die geotropisch mehr, heliotropisch und in puncto Verunreinigungen der Luft weniger empfindliche Wicke, was sich auch im ganzen Habitus kund gibt. Während die *Fu*-Keimlinge in der unreinen Luft fast alle so ziemlich horizontal nutieren und nur vereinzelte sich aufrichten und so in die für die Pflanzen in der reinen Luft normale Ruhelage kommen (vergl. Photographie Fig. 11 *b)*, wachsen die meisten *Sa* in die Höhe.

Ganz anders ist das Bild in der reinen Luft (Fig. 11 *a)*. Hier kostet es dem Beobachter Mühe, *Sa* und *Fu* von einander zu unterscheiden, und wenn nicht früher schon gesagt worden wäre, daß die *Fu* die untere Reihe bilden, hätte man Not, das zu erkennen. Die Photographie spricht besser als alle Worte, so daß es unnötig erscheint, nun auch noch für die aufrechten Töpfe die Unterschiede abzuleiten (Fig. 11 *c* und *d)*.

Vergleicht man noch das Protokoll Nr. 10, so ergibt sich auch ein Unterschied der Winkel von der Horizontalen aus berechnet als Ausdruck der Krümmung bei *Fu* und *Sa*. Dieser Winkel ist größer bei der *Sa* als bei der *Fu*; mit anderen Worten, er ist ein beiläufiges Maß der Empfindlichkeit von *Sa* und *Fu* in Bezug auf die Verunreinigungen der Luft.

In der reinen Luft ist der Winkel bei beiden Wicken 90°.

In ganz ähnlicher Weise sind die Versuche mit *Vicia Faba* (große und kleine Varietät), *Vicia Narbonensis* und *Pisum sativum* (Sommer- und Winterform) ausgefallen. Von der Wiedergabe noch weiterer Protokolle darf wohl abgesehen werden.

Weil nun *Vicia Faba* (große Varietät) in ganz besonders schöner Weise die Verschiedenheit in der Aufwärtskrümmung nach dem Horizontallegen in reiner und unreiner Luft zeigt, wurde sie am Versuchsschluß aufgenommen. Das Messungsergebnis unmittelbar nach dem Photographieren vergleiche man im Protokoll Nr. 11, in dem selbstverständlich auch die Werte für die zum Versuche gehörigen aufrechtstehenden Keimlinge mit aufgenommen sind.

Daraus kann man ersehen, daß die Winkel der negativ geotropischen Krümmung in reiner und unreiner Luft sich verhalten wie 96°:61·6°, der erste den zweiten also um 34·4° übertrifft.

Ganz ähnliche Zahlen haben auch die Messungen bei *Vicia Faba* (kleine Varietät) und *Vicia Narbonensis* ergeben, ja bei *Pisum sativum* erhielt man noch größere Unterschiede der beiden charakteristischen Winkel.

Kurz:

Alle Experimente zeigen übereinstimmend den maßgebenden Einfluß der gasförmigen Verunreinigungen der Luft auf die geotropischen Bewegungen der Stengel bei den untersuchten Pflanzen und zeigen gleichzeitig, wie ungemein verschieden das Plasma verschiedener Pflanzen auf den gleichen Faktor reagiert.

Da dieser Faktor durchgehends als Hemmung erscheint und diese sich in der verschiedenen Fähigkeit der Pflanzen, in die vertikale Ruhelage hereinzukommen, ausprägt, so daß man bei bestimmten Pflanzen auch bestimmte Neigungswinkel erhält, kann man sagen, daß der Winkel, den ein Keimstengel in der verunreinigten, gegenüber einem in der reinen Luft zur Horizontalen bildet, ein beiläufiges Maß darstellt für die gasförmigen Verunreinigungen der Luft.

D. Experimente über den Einfluß gasförmiger Verunreinigungen der Luft auf eine größere Anzahl verschiedener Wickenspezies und auf andere Pflanzen.

1. Experimente mit verschiedenen Wicken.

Bereits in den vorhergehenden Kapiteln hatte ich Gelegenheit, auf die große Verschiedenheit hinzuweisen, die man bei den Wicken verschiedener Art in Bezug auf ihre Empfindlichkeit gegen Licht- und Schwerkraftreize sowie gegen die gasförmigen Verunreinigungen der Luft beobachten kann.

Da mir nun nach meinen bisherigen Erfahrungen die Betonung dessen nicht wertlos erschien, daß nicht jede Wicke für die Demonstration des Einflusses der Laboratoriumsluft gleich gut geeignet sei, daß somit nicht jede sich gleich gut zu den einschlägigen Experimenten eigne, daß man bei Mißerfolgen die Schuld infolgedessen nicht einer mangelhaften Beobachtung meinerseits, sondern den spezifischen Eigenschaften und der verschiedenen Eignung des Versuchsmaterials für die Untersuchungszwecke zuzuschreiben habe, unternahm ich es, eine Anzahl verschiedener Wickenspezies auf ihre verschiedene Empfindlichkeit für die gasförmigen Verunreinigungen der Luft zu überprüfen.

Die Versuchsanstellung war die denkbar einfachste:

Von zwei zu einem Versuche gehörigen Glasglocken wurde immer die eine (*a*) mit Wasserabschluß versehen, d. h. Glocke mit reiner Luft; die andere (*b*) gestattete der Laboratoriumsluft den Zutritt. Über die weitere Versuchsanstellung und die zu beachtenden Vorsichten vergl. das früher Gesagte. Unter jede Glocke kamen zwei Blumentöpfe, von denen jeder mit 20 bis 30 Keimlingen je einer der zu untersuchenden Wickenarten besät war, ausgenommen natürlich *Vicia Faba*, wo höchstens 7 Keimlinge in einem Topfe gezogen wurden.

Die Versuchspflanzen wurden in einer Reihe von Versuchen im eben ausgekeimten Zustande (Würzelchen etwa 0·8 *mm*, Stengel noch nicht aus der Samenschale hervorgekommen), in einer anderen Reihe von Versuchen 1 *cm* hoch aus dem Glashause gebracht und zum Experimente verwendet. Alle Versuche wurden unter Dunkelstürzen oder unter schwarzem Papier im dunklen, von einer Gasflamme geheizten Keimkasten ausgeführt.

Das Ergebnis war übereinstimmend folgendes:

Mit einer Ausnahme erwiesen sich alle verwendeten Wickensorten als dem Einflusse der gasförmigen Verunreinigungen der Luft unterworfen, die eine mehr, die andere weniger. Die beobachteten Krankheits- oder Betäubungserscheinungen hatten entweder den extremen Typus der *Vicia sativa* L. oder mehr minder den von *Vicia villosa* Roth. Die Pflanzen in der unreinen Luft waren also mit einer Ausnahme durchwegs kürzer, dafür aber dicker als die Gewächse in der reinen Luft.

Ein großer Kontrollversuch mit zwei Keimschalen mit Ring, von denen die Mittelpartien mit Sand bedeckt und durch Gerade in radiär geordnete Felder geteilt waren, in die die Keimlinge aller Wickensorten felderweise gesetzt waren und von denen die eine die Kultur der Wicken in reiner, die andere in unreiner Luft gestattete, fiel vollkommen erwartungsgemäß aus.

Es kann also der obige Satz als vielfach gestützt betrachtet werden. Um rasch eine Vorstellung von der Empfindlichkeit der verschiedenen Arten zu geben, habe ich den Ertrag aus einer Reihe von Versuchen in einer Tabelle zusammengefaßt, in der ich drei Empfindlichkeitsklassen zum Ausdruck zu bringen versuchte: sehr empfindlich (Klasse 3), empfindlich (Klasse 2) und minder empfindlich (Klasse 1), die ich als Überschriften der betreffenden Rubriken annahm und nun durch Eintragen eines Striches (|) die Zugehörigkeit zur einen oder anderen angab. Selbstverständlich habe ich auch die *Vicia sativa* L. und *Vicia villosa* Roth. mit in die Übersichtstabelle aufgenommen.

Von einer Wiedergabe noch weiterer Protokolle meinte ich, Abstand nehmen zu dürfen, da ich mit zwei Ausnahmen sämtliche Zahlen Versuchen entnahm, die bloß drei, höchstens vier Tage alt waren, und da ich bei allen auf die Erhaltung einer konstanten Temperatur von nur 20° C. gesehen habe, mit den Angaben der fortschreitenden täglichen Entwicklung aber kaum etwas Neues sagen könnte.

Die erwähnten zwei Ausnahmen sind die beiden *Vicia Faba*, mit ihrer durch ihre Größe bedingten langsameren Entwicklung, die erst nach sechstägigem Versuche zur Messung verwendet werden konnten. Da aber in der Tabelle immer der Quotient der Längen und Dicken in reiner und unreiner Luft in Betracht gezogen wird, dürfte eine derartige Abweichung nicht zu sehr ins Gewicht fallen, um so weniger, als bei den beiden größeren Wickenspezies auch erst später das Streckungsmaximum in reiner Luft erreicht wird als bei den kleinen Wicken.

Bei der Anfertigung der Tabelle waren für mich maßgebend die Verhältnisse der Längen beziehungsweise Dicken in reiner und verunreinigter Luft; sie sind in der Tabelle durch die Brüche L_1/L_2 und D_1/D_2 wiedergegeben, wobei L_1 die Länge in der reinen, L_2 die in der verunreinigten Luft darstellt. Was D_1 und D_2 bedeuten, versteht sich danach von selbst.

Die beiden nächsten Kolonnen enthalten jeweilig die wirklich ermittelten Quotienten. Q_L bedeutet also: Quotient der Längen in reiner und unreiner Luft. Q_D ist der Ausdruck für den Quotienten der betreffenden Dicken.

Dividiert man die so erhaltenen Werte $\frac{Q_L}{Q_D}$ oder kürzer $\frac{L}{D}$, so treten jene Zahlen auf, die in der nächsten Kolonne stehen. Es ist klar, daß dieser Quotient um so größer wird, je größer L und je kleiner D, desto kleiner aber, je kleiner L und je größer D wird. Er ist somit eine Art mathematischer Ausdruck für die Empfindlichkeit der Wicken.

Die Zahl 1 erreicht er dann, wenn L und D 1 sind, oder wenn $L_1 = L_2$ und $D_1 = D_2$ waren, die in reiner und unreiner Luft gezogenen Pflanzen also keine Unterschiede zeigen, mit anderen Worten, die Pflanzen gegen die gasförmigen Verunreinigungen der Luft unempfindlich sind.

Ein derartiges Beispiel ist *Vicia pseudocracca*. Daß sich in der Tabelle noch ein geringerer Wert als 1 als Quotient ergab, ist auf das Längenverhältnis $^{1 \cdot 83}/_{2 \cdot 18}$ zurückzuführen, das zu Gunsten der Pflanzen in verunreinigter Luft spricht. In den Versuchsprotokollen ist in Übereinstimmung hiemit ein relativ

spätes Aufkommen der Pflanzen in den Glocken mit Wasserabschluß verzeichnet. Es mögen also Nebenumstände hier noch schädigend mitgespielt haben. Ganz entschieden aber war kein wesentlicher Unterschied zwischen den Pflanzen von *V. pseudocracca* in reiner und verunreinigter Luft zu bemerken.

Wird der Wert für L größer als 1, so erscheint die Wicke durch die gasförmigen Verunreinigungen beeinflußt. Um nun eine Art Skala der Empfindlichkeit zu schaffen, wurden die oben angedeuteten Klassen aufgestellt und in die erste alle jene Wicken eingereiht, bei denen der erhaltene Quotient > 1 oder 2, 3 oder 4 war. In die zweite Klasse wurden diejenigen Wicken aufgenommen, bei denen L/D gleich war 5, 6, 7 oder 8. In die dritte Klasse endlich die gezählt, bei denen sich L/D größer als 8 stellte.

Dabei wurden zur leichteren Orientierung die Näherungswerte angegeben. Um Mißverständnissen vorzubeugen, sei noch betont, daß die Werte von Zähler und Nenner in Rubrik L_1/L_2 in Zentimeter, die in Rubrik D_1/D_2 in Millimeter ausgedrückt sind. Da schließlich aber nur die Quotienten gesucht wurden, konnte von diesen Bezeichnungen abgesehen werden.

Nach diesen Erläuterungen dürften die Angaben der Tabelle 1 verständlich sein.

Aus der Tabelle ergibt sich zunächst, daß es sehr empfindliche *(Vicia calcarata, sativa, tricolor, globosa)*, empfindliche *(Vicia Gerardi, atropurpurea, fulgens, cracca, onobrychioides)* und minder empfindliche Wicken *(Vicia villosa, Narbonnensis, Faba*, kleine Varietät, *Faba*, große Varietät) gibt, endlich daß man eine Wickenart als für Laboratoriumslufteinflüsse unempfindlich bezeichnen kann, die *Vicia pseudocracca)*.

Man sieht also unter Zugrundelegung des gewählten Einteilungsprinzipes die untersuchten Wicken eine physiologische Reihe bilden, die mit der *Vicia calcarata* beginnt und mit der *Vicia pseudocracca* schließt.

Tabelle 1.

Wickenart	L_1/L_2	D_1/D_2	ϱ_L	ϱ_D	L/D	Näherungswert	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
Vicia atropurpurea L.	8·1/2·4	1/2	3·3	0·5	6·6	7		|	
» *calcarata*	9·5/1·4	1/2	6·5	0·5	13	13			|
» *cracca* L.	6·9/2	1/1·5	3·45	0·6	5·7	6		|	
» *Faba* L. große Varietät.....	12·3/8·5	3·5/5	1·4	0·7	2	2	|		
» *Faba* L. kleine Varietät.....	13·3/7·4	3/4	1·8	0·75	2·6	3	|		
» *fulgens*	5·3/1·6	1/2	3·3	0·5	6·6	7		|	
» *Gerardi* Willd.	8·8/2·3	1/2·1	3·8	0·47	8	8		|	
» *globosa*	3·9/1·18	1/2·5	3·4	0·4	8·5	9			|
» *Narbonnensis* L.	5·8/3	2/3	1·9	0·6	3·1	3	|		
» *onobrychiodes* .	9·6/2·49	1·5/2	3·8	0·75	5	5		|	
» *pseudocracca* ..	1·83/2·18	1·5/1·5	0·84	1	0·8	<1			
» *sativa* L.	9/1·67	1/2	5·4	0·5	10·8	11			|
» *tricolor*	10·8/2	1/2	5·4	0·5	10·8	11			|
» *villosa* Roth. .	6·9/3·3	0·8/1·5	2	0·53	3·7	4	|		

2. Über die verschiedene Empfindlichkeit verschiedener Organe derselben Wickenspezies.

Für derartige Beobachtungen eignen sich natürlich bloß entsprechend große Wickenarten: also vornehmlich *Vicia Faba* in ihrer großen und kleinen Varietät.

Indem ich zunächst auf Tabelle 1 verweise, aus der sich für die große Varietät von *Vicia Faba* $L/D = 2$ (Näherungswert 2), für die kleine Varietät $L/D = 2·5$ (Näherungswert 3) ergeben hatte, sei es mir gestattet, in einer kleinen Tabelle die Werte für die mittleren Stengellängen derselben Pflanzen bis

zu den Insertionsstellen der obersten Blattpaare, die Stengeldicken und die Blattlängen (Blattstiel + Blattlamina) und Blattdicken in Beziehung zu bringen. Man erhält:

Tabelle 2.

Vicia Faba	Organe	L_1/L_2	D_1/D_2	Q_L	Q_D	L/D	Näherungswert	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
Große Varietät	Stengel	7·4/6·74	3·5/5	1·1	0·7	1·5	2	|		
	Blätter	4·9/1·76	/*	2·6	1	2·6	3	|		
Kleine Varietät	Stengel	9·92/6·2	3/4	1·6	0·75	2·1	2	|		
	Blätter	3·98/1·2	/*	3·3	1	3·3	>3	|		

* Genauere Angaben können wegen der ziemlich gleichen Dicke der Blätter in reiner und unreiner Luft entfallen, da nur der Quotient 1 in Betracht kommt.

Vergleicht man die in der Tabelle 2 angegebenen Werte für L/D, so bemerkt man, daß sie bei beiden Varietäten zu Gunsten der Blätter ausfallen, bei der großen Varietät beträgt die Differenz der Quotienten 1·1, bei der kleinen 1·2.

Hätte man sich somit bei der Zahlenermittlung bei beiden Varietäten bloß an die Stengelwerte gehalten, so wären die Werte zu gering, im anderen Falle zu hoch ausgefallen. Gleichzeitig ist damit aber der Beweis erbracht, daß die Blattlamina unter Umständen sehr stark von den gasförmigen Verunreinigungen beeinflußt wird, was ich als weitere Stütze meiner[1] Ansicht gegen Jaccard's[2] Meinung vorbringen möchte. Benzol, Benzin, Terpentin und andere Gifte wirken in dieser Beziehung noch viel stärker. Danach erscheint es notwendig, bei Ermittlung der Tabellenwerte wenigstens bei größeren Pflanzen auch

[1] Oswald Richter, l. c., p. 188.

[2] P. Jaccard, l. c.; Bot. Zentralbl., 1905, l. c., p. 501.

auf die gemessenen Organe Rücksicht zu nehmen und Mittelwerte unter Bezugnahme auf beide Organe (Stengel und Blatt) zu verwenden.

3. Über die langsame Gewöhnung von Wickenkeimlingen an die Laboratoriumsluft und deren physiologische Nachwirkung.

Wurde eben gezeigt, daß es bei der Beurteilung des Empfindlichkeitsgrades einer Wicke nicht gleichgültig ist, an welchem Organe, Stengel oder Blatt, die maßgebenden Messungen angestellt wurden, auf Grund derer nachher die Einreihung in eine Empfindlichkeitsklasse erfolgte, so gilt dies noch weit mehr bezüglich der Vorbehandlung, die die Wicken vor Versuchsbeginn erfuhren.

Läßt man nämlich Wicken im Glashause auskeimen (Glashauswicken *GW*) und verwendet sie zu dem bekannten Laboratoriumsversuche mit der mit Wasser abgeschlossenen und der offenen mit Filtrierpapier umhäuften Glocke und macht gleichtzeitig einen genau gleich ausgestatteten Kontrollversuch mit Wicken, die im Laboratorium ausgekeimt waren (Laboratoriumswicken *LW*), so fallen die erhaltenen Werte grundverschieden aus.

Als Beispiel der folgende Versuch:

Am 17. März 1905 wurden *GW* und *LW* von *Sa* und *Fu* teils aufrecht (⊥), teils umgelegt (⊣), sämtlich im Dunkeln in einem der Laboratoriumsthermostaten der Laboratoriumsluftwirkung ausgesetzt und ein genau gleich ausgestatteter Kontrollversuch im selben Thermostaten untergebracht. Die im Thermostaten ausgekeimten Pflanzen hatten beim Versuchsbeginne folgende Längen: *Sa* durchschnittlich 1·2 *cm*, *Fu* 0·5 *cm*. Die im Glashaus ausgekeimten *Sa* und *Fu* waren wegen der dort herrschenden tieferen Temperatur durchwegs 0·5 *cm* lang.

Am 20. März wurde der Versuch beendet; die Wicken wurden abgeschnitten und gemessen.

Die erhaltenen Mittelwerte für Längen und Dicken in reiner und verunreinigter Luft liegen nun der folgenden Tabelle zu Grunde, die nach der zur Tabelle 1 gegebenen Erläuterung unschwer zu verstehen sein dürfte. Es sei nur nochmals betont, daß ich die Lage der Wicken durch die Zeichen ⊥ für aufrecht und ⊣ für umgelegt ausgedrückt habe. Die Bezeichnungen *GW* und *LW* wurden oben erläutert.

Tabelle 3.

Vorbehandlung	Wickenart	Stellung	L_1/L_2	D_1/D_2	Q_L	Q_D	L/D	Näherungswert	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
LW	*Sa*	⊣	14·2/8·7	1/1·5	1·6	0·66	2·4	2	∣		
		⊥	14·8/7·3	1/1·5	2	0·66	3	3	∣		
	Fu	⊣	10·6/5·9	1/2·5	1·8	0·4	4·5	5		∣	
		⊥	12·2/3·6	1/2	3·4	0·5	6·8	7		∣	
GW	*Fu*	⊥	9/1·67	1/2	5·4	0·5	10·8	11			∣
		⊣	8·3/1·85	1/2	4·5	0·5	9	9			∣
	Sa	⊥	6·9/3·3	0·8/1·5	2	0·54	3·7	4	∣		
		⊣	8·5/3·4	0·8/1·5	2·5	0·54	4·6	5		∣	

Die Schwierigkeit der Beurteilung dieser Tabelle und des durch sie dargestellten Versuchsergebnisses liegt darin, daß man, wie leicht einzusehen, die Versuchsbedingungen bei einem derartigen Experimente nie völlig gleich gestalten kann. Denn entweder hält man sich an die gleiche Zeit fürs Auskeimen bei *LW* und *GW*, dann sind bei gleicher Temperatur die Glashauswicken zur Zeit, wo die Laboratoriumswicken eben zum Versuche geeignet sind, schon so hoch, daß sie zum Versuche nicht mehr verwendet werden können, oder man hält sich an die Stengellänge, wie ich mich das zu tun bemüht habe. — Bei *Fu* ist es mir ganz geglückt. Die *L Sa W* waren bei Versuchsbeginn um 0·7 *cm* voraus. — Dann muß man bei gleicher Temperatur im Gewächshause und im Laboratoriumsthermostaten die Keimlinge im Gewächshause später auskeimen lassen oder bei nahezu gleichem Keimungsbeginn für eine niedere Temperatur im Gewächshause sorgen. Es werden daher in der Regel die *LW* die älteren sein, die zum Versuche benutzt werden.

Streng vergleichbar sind also immer nur paarweise die Pflanzen, die bei gleicher Vorbehandlung im Versuche in reiner, beziehungsweise unreiner Luft standen.

Indem sich nun in diesen Fällen stets eine gewisse Konstanz der Differenz, beziehungsweise des Quotienten von Länge und Dicke in reiner und unreiner Luft ergibt, können die bei den nach einer Art vorbehandelten Wicken erhaltenen Zahlen mit jenen bei den nach der anderen Art vorbehandelten Wicken erhaltenen in Beziehung gebracht und so im weiteren Sinne vergleichbar gemacht werden. Um diesen Vergleich möglichst zu erleichtern, habe ich das in dieser Weise Vergleichbare in der Tabelle spiegelbildlich angeordnet.

Betrachten wir zunächst die *Fu* nach dieser Richtung, so lauten die Quotienten der Längen L_1/L_2 bei den *LW* 3·4 und 1·8, bei den *GW* 5·4 und 4·5 bei ⊥ beziehungsweise ⊣ Aufstellung. Danach übertreffen die Quotienten der *GW* die der *LW* um 2 beziehungsweise 2·7, also fast 3 und sind also 5·4/3·4 = 1·6 und 4·5/1·8 = 2·5, also rund zweimal so groß.

Das besagt, daß die Pflanzen im Wachstum fast doppelt so sehr gehemmt sind, wenn sie, in reiner Luft ausgekeimt, aus dieser in die verunreinigte übertragen werden, als wenn sie gleich in unreiner ausgekeimt sind. Um sich davon rasch eine Vorstellung zu machen, braucht man ja nur die Längen der verschiedenen vorbehandelten Pflanzen in verunreinigter Luft zu einander in ein Verhältnis zu bringen: 3·6/1·67 = 2·1; 5·9/1·85 = 3·2.

Es erreichen also *LW* im Laboratorium in gleicher Zeit unter sonst gleichen Bedingungen in der verunreinigten Luft des Laboratoriums größere Längenzuwächse als *GW*, die am Versuchsbeginne mit ihnen die gleiche Länge besaßen. Man kann somit von einer Gewöhnung der *LW* an die Laboratoriumsluft sprechen.

Eine Erklärung dieser Erscheinung dürfte in Prianischnikow's[1] Versuchen liegen, nach denen es zweifellos geworden ist, daß die chemischen Umsetzungen in Laboratoriumsluftpflanzen ganz andere sind als bei den Pflanzen in reiner Luft.

Wird also ein Keimling aus reiner in verunreinigte Luft übertragen, so wird er sozusagen von den veränderten Verhältnissen überrascht und findet keine Zeit für die doppelte

[1] D. Prianischnikow, l. c., 1904, p. 35.

Arbeit, die darin besteht, auf der einen Seite jene durch die Narkose bedingten chemischen Umsetzungen vorzunehmen, auf der anderen jene chemischen Umsetzungen zu besorgen, die zur Vergrößerung des Pflanzenleibes führen. Das unter der zwingenden Last der Verhältnisse Notwendigere, das Erste wird zunächst besorgt und die zweite Arbeit aufgeschoben beziehungsweise auf ein Minimum reduziert. Dadurch verzögert sich natürlich das Wachstum ungemein.

Da Prianischnikow durch makrochemische Analysen besonders auf die Asparaginanhäufung in Keimlingen aufmerksam gemacht hat, man aber schon lange Wickenkeimlinge (natürlich Laboratoriumspflanzen) als Demonstrationsobjekte zum mikrochemischen Nachweise des Asparagins verwendet, wäre es gewiß nicht uninteressant, die Prianischnikow'schen Versuche mit diesen ausgezeichneten Versuchsobjekten mit mikrochemischen Methoden[1] zu wiederholen und damit gleichzeitig die Frage der Gewöhnung von Wicken an die verunreinigte Luft durch Auskeimen in ihr zu überprüfen. Andrerseits müßte es gelingen, sozusagen den Moment auch mikrochemisch festzustellen, wann beim Übertragen aus der reinen in die verunreinigte Luft der neue Stoffwechsel beginnt. Ebenso dürfte sich, wenn die geäußerte Anschauung richtig ist, ein allmähliches Abklingen der Reaktionsfähigkeit auf Asparagin einstellen, wenn man Pflanzen, die nach Aufenthalt in verunreinigter in reiner Luft gewachsen waren, untersucht. Daß tatsächlich eine Art langsamen Erwachens von der Narkose stattzuhaben scheint, das zeigen das allmähliche Schmälerwerden der Keimlinge, wie ich es früher[2] bei Bohnen im Bilde festgehalten habe, und die bei solchen Versuchen nach der Übertragung in reine Luft in der Regel beobachteten zunächst kleinen, später aber starken Zuwächse in den aufeinander folgenden Versuchstagen. Es mag eben eine gewisse Zeit dauern, bis die normale Wachstumsgeschwindigkeit erzielt wird. Somit hemmt die Laboratoriumsluft die normale Entwicklung noch eine Zeitlang, wenn die Keimlinge ihrer direkten Wirkung schon entzogen sind.

---

[1] A. Zimmermann, Die botanische Mikrotechnik. Tübingen 1892, p. 80.

[2] Oswald Richter, l. c., p. 185, Fig. 5.

Von diesem Gesichtspunkte aus kann man also auch von einer physiologischen Nachwirkung der verunreinigten Luft sprechen. Sie wird ebenfalls in dem Quotienten der Längen beziehungsweise Dicken der Pflanzen in reiner und verunreinigter Luft ihren Ausdruck finden.

Bildet man dann auch noch die Quotienten aus Q_L und Q_D, also L/D, so muß sich nach früher Gesagtem[1] natürlich der Unterschied, den verschiedene Vorbehandlung mit sich bringt, noch klarer ausdrücken lassen. Die so gewonnenen Näherungswerte verhalten sich nachher wie 7 und 5 zu 11 und 9 bei ⊥ und ⊣ Pflanzen.

Hält man sich nun an die früher[2] angenommene Bezeichnungsweise und Klasseneinteilung, so sieht man sich genötigt, die Futterwicke in zwei Empfindlichkeitsklassen unterzubringen, in die zweite und dritte, je nachdem sie in unreiner oder reiner Luft ausgekeimt war, der beste Beweis dafür, wie viel die Futterwicke bei dauerndem Aufenthalte in verunreinigter Luft an Empfindlichkeit für deren schädigende Wirkung einbüßt.

Daraus ergibt sich auch eine wichtige Folgerung für die Zusammenstellung von Tabellen über die Empfindlichkeit von Pflanzen, wie die auf p. 319 wiedergegebene. Will man völlig vergleichbare Werte erhalten, dann darf man in sie, wie dies dort geschehen ist, nur gleichartig vorbehandelte Wicken aufnehmen. Will man die denkbar deutlichsten Unterschiede erhalten, dann empfiehlt sich, wie dies eben da auch geschehen ist, die Pflanzen im Glashause auskeimen zu lassen und diese »Glashauspflanzen« zum Versuche zu verwenden. Versäumt man dies, so werden die Werte durch die infolge Auskeimung in Laboratoriumsluft erzeugte Gewöhnung an die schlechte Luft stark herabgedrückt und berücksichtigt man bei einer Anzahl Wicken das Moment der Vorgeschichte, bei anderen nicht, so werden die aus der Tabelle erschlossenen Resultate unwahr.

Es hat sich also zunächst für die Futterwicke zeigen lassen, daß sie umso empfindlicher gegen die

[1] p. 317.

[2] p. 316.

gasförmigen Verunreinigungen der Luft erscheint, je plötzlicher sie ihnen ausgesetzt wird.

Was in so auffälliger Weise bei der Futterwicke zutage tritt, zeigt sich, wie zu erwarten war, entsprechend abgeschwächt bei der Sandwicke. Ohne die analogen Betrachtungen zu wiederholen, sei nur auf die Näherungswerte verwiesen: sie verhalten sich wie 3 und 2 zu 4 und 5 bei den ⊥ und ⊣ Pflanzen. Wenn also die Sandwicke im allgemeinen nach Auskeimung in reiner Luft nicht über die erste Empfindlichkeitsklasse hinauskommt, so sind doch ganz deutliche Unterschiede zu sehen, eine Illustration mehr für das parallele, aber doch graduell verschiedene Verhalten von Futter- und Sandwicken.

Die in diesem Kapitel behandelte physiologische Nachwirkung der Laboratoriumsluft ist mit der im Abschnitte *B* besprochenen nicht zu verwechseln.

Denn hier hemmten die gasförmigen Verunreinigungen der Luft in Übereinstimmung mit ihrem sonstigen Verhalten bei dauernder Einwirkung nachwirkend das Wachstum, während sie dort wie bei dauernder Einwirkung die heliotropische Empfindlichkeit steigern.

Aber auch die allmähliche Gewöhnung der Keimlinge an die Vergiftungs- und Narkosewirkungen der gasförmigen Verunreinigungen der Luft, dieses allmähliche Abgestumpftwerden gegen neuerliche Schädigungen des Plasmas und die trotzdem beobachtete gesteigerte heliotropische Reizbarkeit sind Erscheinungen, deren Existenz nebeneinander verständlich wird, wenn man die allmähliche Abstumpfung des Alkoholikers gegen die stets neu aufgenommenen Dosen des verderblichen Giftes zum Vergleiche heranzieht, die in der Regel von einer unglaublichen Reizbarkeit für gewisse äußere Ursachen begleitet ist.

4. Über die Empfindlichkeit verschiedener Pflanzen für die gasförmigen Verunreinigungen der Luft.

Wiesner[1], Wyplel[2], Rimmer[3], Oltmanns[4] und viele andere haben abnorme Nutationen bei den Versuchspflanzen im Laboratorium beobachtet. Auch Correns[5] spricht von solchen Erfahrungen und nach Rothert[6] sollen besonders Tropaeolumkeimlinge abnorme Krümmungen aufweisen. Nach Neljubow[7] unterliegen Erbse, Wicke, Linse, nach Singer[8] die Kartoffel, nach meinen[9] Erfahrungen *Phaseolus multiflorus* Willd., *Helianthus annuus* L. und *Cucurbita Pepo* L., nach Wächter[10] *Callisia repens* der hemmenden Wirkung der gasförmigen Verunreinigungen der Luft.

Ich habe meine Untersuchungen nun noch auf andere Pflanzenfamilien und auf andere Arten der *Papilionaceen* ausgedehnt, die ich in der Folge unter Berücksichtigung früherer Versuchsprotokolle und unter Ausschluß der schon behandelten Wicken in eine Tabelle zusammengestellt habe. Die Bezeichnungen der Kolonnen sind nach früheren Bemerkungen ohne weiteres verständlich.

Die Tabelle 4 lehrt, daß die Pflanzenarten beziehungsweise -familien, von denen man bisher die Beeinflußbarkeit durch die gasförmigen Verunreinigungen der Luft kannte, noch um einige *(Lathyrus odoratus, Polygonum Sieboldi, Zea Mays)* vermehrt worden sind, daß, wie zu erwarten war, die verschiedenen Arten wieder verschieden empfindlich sind. So steht obenan die Erbse, dieser zunächst Kartoffel und Bohne, woran sich die übrigen Arten und Familien reihen.

---

[1] J. Wiesner, l. c.
[2] Wyplel, l. c.
[3] Rimmer, l. c.
[4] Fr. Oltmanns, l. c.
[5] Correns, l. c., p. 139.
[6] W. Rothert, Heliotropismus. L. c.
[7] D. Neljubow, l. c.
[8] M. Singer, l. c.
[9] Oswald Richter, l. c.
[10] W. Wächter, l. c.

Tabelle 4.

Familie	Art	L_1/L_2	D_1/D_2	Q_L	Q_D	L/D	Näherungswert	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
Papilionaceae	*Phaseolus vulg.* Willd.	17 / 54	4·5 / 6·5	3·16	0·6	5	5		|	
»	*Pisum sativum* L.	15·14 / 2·2	2·5 / 4·4	6·9	0·57	12	12			|
»	*Lathyrus odoratus*	3·9 / 2·7	2 / 3	1·44	0·66	2·1	2	|		
Solanaceae	*Solanum tuberosum* L.	7·06 / 1·5	4 / 6·8	4·7	0·59	7·9	8		|	
Compositae	*Helianthus annuus* L.	18 / 11·8	4 / 1	1·5	1	1·5	2	|		
Cucurbitaceae	*Cucurbita Pepo* L.	17·3 / 10	4 / 5	1·76	0·8	2·2	2	|		
Polygonaceae	*Polygonum Sieboldi* Reinw.	5 / 4	1·5 / 2	1·25	0·75	1·6	2	|		
Gramineae	*Zea Mays* L.	38 / 32·8	3·5 / 3·5	1·16	1	1·16	>1	|		

Am wenigsten scheint Mais unter der Wirkung der Laboratoriumsluft zu leiden (man vergleiche die im Kapitel *B* wiedergegebene Erfahrung Czapek's über die gleiche heliotropische und geotropische Empfindlichkeit von Gräsern).

Obwohl nun natürlich mit der Feststellung dieser Tatsachen nur ein ganz geringer Beitrag zur Physiologie der Gewächse gegeben ist, so läßt sich immerhin daraus mit großer Wahrscheinlichkeit eine bedeutende Vermehrung dieser Fälle voraussagen und zweifellos ist damit ein Beleg mehr erbracht für die Notwendigkeit, den Faktor »die gasförmigen Verunreinigungen der Luft« bei allen Versuchen im Laboratorium mit zu berücksichtigen.

Da man beim Lesen der vorliegenden Arbeit, falls man noch nie Gelegenheit hatte, die außerordentliche Empfindlichkeit der besprochenen Versuchspflanzen kennen zu lernen, zur Auffassung gelangen könnte, als ob die Räume, in denen gearbeitet wurde, für physiologische Experimente die denkbar ungünstigsten und ungesündesten wären, möchte ich wie früher schon einmal zum Schlusse hervorheben, daß das k. k. pflanzenphysiologische Institut der deutschen Universität in Prag einen prächtigen, in freier Lage befindlichen Neubau vorstellt, der wegen der modern eingerichteten Räume in hygienischer Beziehung, namentlich aber was Licht und gute Luft anlangt, jedenfalls zu den besten pflanzenphysiologischen Instituten gehört.

III. Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.

Wie aus früheren Untersuchungen von Neljubow, Singer und mir hervorgeht, hat die Laboratoriumsluft einen auffallenden Einfluß auf Keimlinge im Vergleiche mit reiner Luft.

Molisch beobachtete bei seinen Versuchen über den Heliotropismus im Bakterienlichte und den Heliotropismus, indirekt hervorgerufen durch Radium, sehr starkes Hinwenden der Keimlinge zum Lichte nur bei Experimenten im

Laboratorium, während sonst gleich ausgeführte Versuche in der reinen Luft des Gewächshauses mißlangen.

In der vorliegenden Arbeit wurde nun festgestellt, daß Keimlinge der verschiedensten Pflanzen für Lichtreize tatsächlich viel empfindlicher sind, wenn sie in verunreinigter Luft wachsen, als wenn sie sich in reiner Luft befinden.

Sorgt man dafür, daß Keimlinge unter sonst gleichen Versuchsbedingungen in reiner und unreiner Luft der Einwirkung einer schwachen Lichtquelle ausgesetzt sind, so zeigen bei genügender Verminderung der Lichtintensität die Pflanzen in reiner Luft keine Spur von Heliotropismus, während die in der verunreinigten Luft noch außerordentlich deutlich heliotropisch reagieren.

Bei etwas höherer Lichtintensität tritt natürlich auch in der reinen Luft der Heliotropismus auf, doch erreicht der Ablenkungswinkel von der Vertikalen nie jene Größe wie bei den gleich alten Pflanzen in der verunreinigten Luft.

Der Winkel, den die heliotropisch gekrümmten Keimlinge derselben Pflanzenart in reiner im Vergleiche zu solchen in verunreinigter Luft mit ihrer früheren Ruhelage bilden, erscheint somit als ungefähres Maß für die Verunreinigung der umgebenden Luft.

Als die günstigsten Versuchsobjekte für die genannten Experimente erwiesen sich Wicken und Erbsen.

Die Empfindlichkeit gegen Licht und Laboratoriumsluft ist bei den verschiedenen Wickenspezies verschieden. Nach der Empfindlichkeit gegen diese ließen sich die untersuchten Wicken in eine physiologische Reihe bringen, die mit *Vicia calcarata* beginnt und mit *Vicia pseudocracca* abschließt. *Vicia pseudocracca* kann man als gegen Verunreinigungen der Luft unempfindlich bezeichnen.

Dabei reagieren die verschiedenen Organe wie Blatt und Stengel gegen diesen Faktor verschieden.

Auch konnte der Beweis für eine allmähliche Gewöhnung der Wicken an die narkotisierende Wirkung der Laboratoriumsluft erbracht und die Nachwirkung dieser im Sinne einer Hemmung des Längenwachstums nach Übertragung in reine Luft erwiesen werden. Die Laboratoriumsluft hemmt also in

Übereinstimmung mit ihrem sonstigen Verhalten bei dauernder Einwirkung auch nachwirkend das Längenwachstum und steigert die heliotropische Empfindlichkeit.

Unter den Wicken wurden auf ihre Empfindlichkeit gegen die zwei oben genannten Faktoren hin am eingehendsten die Futter- und Sandwicken (*Vicia sativa* L. und *Vicia villosa* Roth.) geprüft, bei denen eine solche Untersuchung umso mehr am Platze war, als die Samen beider Pflanzen oft verwechselt werden, wodurch recht unangenehme Nachteile für physiologische Experimente erwachsen können.

Es erscheint dabei die Sandwicke gegen Licht und Luft minder empfindlich. Das zeigten alle Experimente in übereinstimmender Weise: Die nach neuer Versuchsanstellung bewerkstelligte Wiederholung des photometrischen Versuches von Wiesner, des heliotropischen Versuches mit Leuchtbakterien von Molisch, des von Hofmann mit phosphoreszierenden Substanzen, Induktionsversuche u. s. f.

Alle Experimente erwiesen die Richtigkeit der von Molisch gemachten Beobachtung von der Beeinflussung des Heliotropismus und Geotropismus durch die gasförmigen Verunreinigungen der Luft und man kann danach den Winkel, den Keimlinge verschiedener Wickenspezies bei Flankenbeleuchtung in reiner und unreiner Luft mit der Vertikalen bilden, auffassen als beiläufiges Maß für ihre Empfindlichkeit gegen die gasförmigen Verunreinigungen der Luft.

Andrerseits erscheint in Anbetracht der Wechselbeziehung zwischen positivem Heliotropismus und negativem Geotropismus von Stengeln beim Vergleiche von Pflanzen verschiedener Spezies in reiner Luft vor einer Lichtquelle die Größe des Neigungswinkels zum Lichte als beiläufiges Maß für die geotropische Empfindlichkeit der Pflanzen. Bei Beleuchtung horizontal gelegter Keimlinge von unten erfolgt bei bestimmter Lichtintensität in unreiner Luft noch ein entschiedenes Abwärtswachsen gegen die Lichtquelle, während die Kontrollpflanzen negativ geotropisch aufwärts wachsen. Es ließ sich dabei auch eine den Heliotropismus steigernde Nachwirkung der Laboratoriumsluft feststellen.

Geotropische Versuche bei Ausschluß von Licht haben eine ähnliche Abhängigkeit des Geotropismus von den gasförmigen Verunreinigungen der Luft dargetan.

Endlich wurde gezeigt, daß auch andere *Papilionaceen* als Wicken, Erbsen und Linsen und noch andere Familien als die schon bekannten, gleichfalls der Laboratoriumsluftwirkung unterliegen, wobei sich ähnlich wie bei den Wicken eine ganze Empfindlichkeitsskala aufstellen läßt.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. H. Molisch, für das rege Interesse, das er jedem Fortschritt der Arbeit entgegenbrachte, meinen verbindlichen Dank auszusprechen.

IV. Protokolle.

Protokoll Nr. 1. (ad *A*, 1; Text p. 274.)

Heliotropischer Versuch vom 29. März 1905, 6^h abends

mit durchwegs schlanken, negativ geotropischen, im Glashaus unter Dunkelstürzen ausgekeimten Pflanzen. *DL* der *Sa* 1·5 *cm*; *DL* der *Fu* 2 *cm*.

Die Beobachtungsflamme wurde **hinter** den Keimlingen angezündet und sofort nach der Beobachtung ausgelöscht.

Tag	Uhr	Temp.	Futterwicke		Sandwicke	
			reine Luft	unreine Luft	reine Luft	unreine Luft
30. März	6^h p.	22°	Die Keimlinge zeigen steile Krümmungen zum Lichte	Scharfe rechtwinkelige Krümmung zum Lichte	Steile Krümmung in der Beleuchtungsrichtung	Scharfe, fast rechtwinkelige Krümmung zum Lichte
31. März	$8^h 45^m$ a.	21°	*DL* 10 *cm*	*DL* 2+1 *cm*	*DL* 7 *cm*	*DL* 1·5+1 *cm*
			Der Winkel der heliotropischen Krümmung beträgt durchschnittlich 20°	Der Winkel der heliotropischen Krümmung von der Vertikalen beträgt rund 88°	D. W. v. d. V. beträgt etwa 2°	D. W. v. d. V. beträgt rund 70°
31. März	$3^h 30^m$ p.	22°	Der Effekt erscheint verstärkt.			
1. April	$9^h 45^m$ a.	21·5°	Die Unterschiede sind ungemein deutlich.			
1. April	$5^h 22^m$ p.	22°	Schluß des Versuches.			
			Der Versuch wurde photographiert und unmittelbar nachher gemessen.			

Das Messungsergebnis.

Futterwicke						Sandwicke					
reine Luft			unreine Luft			reine Luft			unreine Luft		
∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*
	cm	*mm*		*cm*			*cm*	*mm*		*cm*	*mm*
nicht mehr bestimmbar	15·42	u. 1·5 m. 1 o. 1	88·3°	2·02+2·58 (4·60)	u. 1·5 m. 2 o. 1	nicht mehr bestimmbar	12·95	u. 1 m. 1 o. 0·8	67·3°	1·4+4·25 (5·65)	u. 1 m. 1·8 o. 0·8

Zeichenerklärung.

DL Durchschnittslänge (bei den Pflanzen in unreiner Luft bedeuten die zweiten Zahlen die Zuwächse).
DD Durchschnittsdicke.
Sa Sandwicken.
Fu Futterwicken.
∢ d. h. Kr. Winkel der heliotropischen Krümmung im Durchschnittswert angegeben.
u. Unten.
m. In der Mitte.
o. Oben.

Protokoll Nr. 2. Zur Photographie Fig. 2. (ad *A*, 1; Text p. 274.)

Heliotropischer Versuch vom 7. April 1905, $^3/_4 9^h$ früh.

Vorbereitung.

Am 5. April, 6^h abends, wurden die Wicken, deren Würzelchen bloß ausgetrieben hatten, unter Glasglocken mit Wasserabschluß und unter Dunkelstürzen im Warmkasten aufgestellt.

Tag	Uhr	Temp.	Futterwicke		Sandwicke	
			Erster Topf	Zweiter Topf	Erster Topf	Zweiter Topf
5. April	$5^h 45^m$ p.	21°	—	—	—	—
6. April	$10^h 30^m$ a.	20°	*DL* etwa $^1/_2$ *cm*	*DL* etwa $^1/_2$ *cm*	Die Keimlinge erheben sich eben über den Boden	
7. April	$8^h 15^m$ a.	19°	*DL* etwa 2 *cm*, schmächtig		*DL* etwa 2 *cm*, schmächtig; schön negativ geotropisch	

Beginn des eigentlichen Versuches am 7. April 1905, $^3/_4 9^h$ früh.

* Diese Zahlen entsprechen denen in der Photographie.

Tag	Uhr	Temp.	Futterwicke		Sandwicke	
			reine Luft 2*	verunreinigte Luft 1*	reine Luft II*	verunreinigte Luft I*
7. April	5^h a.	20°	—	Beginnende heliotropische Krümmung	—	Beginnende heliotropische Krümmung

8. April	$12^h 45^m$ p.	19°	gerade, aufrecht	heliotropisch gekrümmt	gerade, aufrecht	heliotropisch gekrümmt
9. April	$5^h 15^m$ a.	19°	*DL* rund 10 *cm* Die vordere Reihe der Keimlinge scheint etwas heliotropisch gekrümmt zu sein	Der horizontale Zuwachs rund 3 *cm*. Der Winkel von der Vertikalen rund 60°	*DL* 10 *cm* Zweifellos ganz gerade	Der Zuwachs beträgt rund 3 bis 4 *cm* ∢ d. h. Kr. etwas geringer als bei 1.
10. April	9^h a.	19°	schwach heliotropisch	stark heliotropisch	vollkommen gerade Einige Keimlinge stoßen bereits an der Glocke oben an	stark heliotropisch

Schluß des Versuches. — Der Versuch wurde am 10. April um $12^1/_2{}^h$ photographiert, kurz darauf gemessen.

Messungsergebnis.

Die vier Hauptkolonnen haben dieselben Überschriften wie die des vorigen Versuches.

∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*
	cm	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*
8°	14·55	u. 1·5 m. 1 o. 1	65·7°	1·93+3·38 5·31	u. 1·5 m. 2·5 o. 1	0°	13·56	u. 1 m. 1 o. 1	60·5°	1·3+4·66 5·96	u. 1 m. 1·5 o. 1

Bestimmung der Lichtintensität beim vorliegenden heliotropischen Versuche mittels des Bunsen'schen Fettfleckphotometers. Nach vier Bestimmungen zeigte das Photometer konstant gleiche Lichtintensität, wenn $x : 1 = 20 \cdot 5^2 : 305^2$, woraus für $x = 420 \cdot 25 : 93025$ der Wert von 0·00451 N. K. folgt. — Da x die Lichtintensität der Glasflamme vorstellt und die Keimlinge 153 *cm* davon entfernt waren, folgt der Wert von $0 \cdot 00451 : 153^2 = 0 \cdot 000.00019 = 0 \cdot 000.0002$ N. K. für die den Heliotropismus hervorrufende Lichtintensität. In dieser Weise wurden die Lichtintensitäten auch bei den anderen Versuchen bestimmt.

Protokoll Nr. 3. Zur Photographie Fig. 3. (ad *A*, 2; Text p. 281.)

Photometrischer Versuch mit Vicia sativa L. und Vicia villosa Roth. vom 7. Juli 1905, 9h früh.

* Diese Zahlen entsprechen denen in der Photographie.

Tag	Uhr	Temp.	Futterwicke		Sandwicke	
			reine Luft I*	unreine Luft II*	reine Luft 1*	unreine Luft 2*
7. Juli	7h 30m p.	20°	Nicht heliotropisch	Sehr deutlich, fast rechtwinkelig gegen die eine Gasflamme gekrümmt	Nicht heliotropisch	Mäßig heliotropisch gekrümmt
7. Juli	9h 30m p.	20°	Andeutung von Heliotropismus	Wie oben	Wie oben	Deutlich heliotropisch gekrümmt, doch schwächer als in II
8. Juli	6h p.	20°	Wurde der Versuch photographiert, indem die Glocken entfernt und die Töpfe unter Winkeln von 45° zur früheren Aufstellung gedreht wurden.			
8. Juli	11h p.	—	Erfolgte die Messung.			

Messungsergebnis.

∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*
	cm	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*
5—30° Schätzw. n. meßb.	8·9	u. 1·1 m. 1·1 o. 1·1	54·7°	0·9+1·4 = 2·3	u. 1 m. 2·5 o. 1·5	0°	8·9	u. 1 m. 1 o. 1	35·8°	0·9+2 = 2·9	u. 1 m. 1·5 o. 1

Protokoll Nr. 4. Zu den Photographien Fig. 4 und 5. (ad *A*, 3; Text p. 286.)

Heliotropischer Versuch mit phosphoreszierenden Substanzen vom 7. Juli 1905, 9h 30m a.

Der Versuch dauerte bis zum 8. Juli 1905, 5h p., wurde photographiert und am selben Tag um 1/2 10h p. gemessen.

Am 7. Juli wurde bereits um 9h 30m p. im Lichte der phosphoreszierenden Substanzen bei den Keimlingen in der verunreinigten Luft Heliotropismus wahrgenommen.

Messungsergebnis.

Futterwicke						Sandwicke					
reine Luft			unreine Luft			reine Luft			unreine Luft		
∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*
	cm	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*
nicht ablesbar	8·4	u. 1·5 m. 1·5 o. 1	72·8°	1·28+1·63 = 2·91	u. 1·5 m. 2 o. 1	nicht ablesbar	8·9	u. 1 m. 1 o. 0·8	46·7°	1·09+2·41 = 3·5	u. 1 m. 1·5 o. 1

Protokoll Nr. 5. Zur Photographie Fig. 6. (ad *A*, 4; Text p. 289.)

1. Induktionsversuch vom 21. Juni 1905.

Die Entfernung der in der Höhe der Keimlinge befindlichen Induktionsflamme von 23·65 N. K. betrug 119 *cm*.

Die Aufstellung des Versuches erfolgte vor 10^h a. fast völlig im Dunkeln, denn schwaches rotes Licht kam erst bei den letzten Handgriffen in Verwendung.

Ort des Versuches: Molisch's Thermostat.

Tag	Uhr	Temp.	Futterwicke		Sandwicke	
			reine Luft 2*	unreine Luft 1*	reine Luft II*	unreine Luft I*
21. Juni	10^h bis $10^h\,5^m$ a.	—	Erfolgte die erste Exposition			
22. Juni	$7^h\,30^m$ a.	—	Die Keimlinge erscheinen vertikal	Recht deutlicher Heliotropismus	Die Keimlinge erscheinen vertikal	Recht deutlicher Heliotropismus
22. Juni	$7^h\,30^m$ bis $7^h\,35^m$ a.	—	Erfolgte die zweite Exposition			
23. Juni	$5^h\,30^m$ a.	—	Der Effekt erscheint verstärkt. Der Versuch wird photographiert.			

* Diese Zahlen entsprechen denen der Photographie.

Messungsergebnis,

erhalten unmittelbar nach erfolgter photographischer Aufnahme.

Futterwicke						Sandwicke					
reine Luft			unreine Luft			reine Luft			unreine Luft		
∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*
	cm	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*
0°	9·4	u. 1·2 m. 1 o. 0·8	80·5° †	1·2+1·3 2·5	u. 1 m. 2 o. 0·9	0°	10·76	u. 0·9 m. 0·9 o. 0·5	47·4° ††	1·35+2·84 4·19	u. 1 m. 1·3 o. 0·5
			† Ermittelt aus folgenden Einzelwerten: 90°, 90°, 93°, 60°, 58°, 80°, 93°. Zwei Pflanzen mit »horizontalen Nutationen« von 30° und 90° senkrecht zum Lichteinfall wurden nicht in Betracht gezogen.						†† Ermittelt aus folgenden Einzelwerten: 32°, 30°, 30°, 20°, 60°, 70°, 75°, 70°, 42°, 40°, 50°, 50°. Eine Pflanze mit »horizontaler Nutation« von 10° wurde nicht in Betracht gezogen.		

Protokoll Nr. 6. (ad *A*, 4; Text p. 289.)

2. Induktionsversuch vom 21. Juni 1905 (auf dem Versuchstisch der Dunkelkammer).

Die Entfernung der Induktionsflamme von 23·65 N. K. betrug 73 *cm*. Die Flamme stand höher als die Keimlinge.

Die Versuche wurden nach erfolgter Induktion noch mit schwarzen Pappstürzen bedeckt.

Auch hier war nach einmaliger Induktion von 5 Minuten am 21. Juni am 22. Juni, um $7^h 30^m$ a., das Resultat ungemein klar und deutlich.

Das Messungsergebnis am 23. Juni, $5^h 30^m$ a.

Futterwicke						Sandwicke					
reine Luft			unreine Luft			reine Luft			unreine Luft		
∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*
	cm	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*
0°	9·67	u. 1·5 m. 1 o. 1	57·8°[1] Wegen Nutationen wurden drei Pflanzen nicht berücksichtigt	1·2+1·6 = 2·8	u. 1 m. 2 o. 1·5	0°	9·8	u. 1 m. 1 o. 0·9	46·8° Wegen Nutationen wurden drei Pflanzen nicht berücksichtigt	1·07+2·4 = 3·47	u. 1 m. 1·5 o. 0·5

[1] Die Zuwachsstrecken befanden sich in der Richtung des Heliotropismus induzierenden Lichtes.

Protokoll Nr. 7. (ad *A*, 6; Text p. 298.)

Heliotropischer Versuch mit Pseudomonas lucifera-Kulturen als Lichtquelle vom 28. Juni 1905.

Die Leuchtkulturen befanden sich auf Glyzerin-Pepton-Gelatine.

Zu beiden Seiten der Strichkulturen standen die Versuche so, daß die Distanz der Keimlingskolonnen von ihnen je 16 *cm* betrug.

Die Versuchsaufstellung erfolgte im roten Lichte.

Tag	Uhr	Temp.	Futterwicke		Sandwicke	
			reine Luft	unreine Luft	reine Luft	unreine Luft
29. Juni	$8^h\ 30^m$ a.	—	Alle aufrecht	Alle heliotropisch gekrümmt	Alle aufrecht	Alle heliotropisch gekrümmt
30. Juni	7^h a.	—	Spuren heliotropischer Krümmung	Alle deutlich heliotropisch ∢ d. h. Kr. 90°	Fast alle vertikal, bei einigen Keimlingen beginnende heliotropische Krümmung	Alle deutlich heliotropisch ∢ d. h. Kr. 70°

Der Versuch wurde zur Überprüfung der Frage nach der Chlorophyllbildung im Bakterienlichte verwendet.

Protokoll Nr. 8. Zur Photographie Fig. 7 *a* und *b*. (ad *B*; Text p. 306 und 308.)

Heliotropischer Versuch mit horizontal gelegten, von unten beleuchteten Erbsen vom 6. Dezember 1905.

Beginn des Versuches um $^1/_2 10^h$ früh.

Keimlinge in Sand in Gläschen. Am 11. Dezember wurde der Versuch photographiert und gemessen.

Messungsergebnis.

Reine Luft				Unreine Luft			
∢ d. neg. g. Kr.*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*	∢ d. neg. g. Kr.*	∢ d. h. Kr.	*DL*	*DD*
91°	0°	5·9+15·14 21·04 *cm*	u. 2·5 *mm* m. 2·5 o. 2	0°	91·8°	1·35+2·2 3·55 *cm*	u. 2·1 *mm* m. 4·4 o. 2

* ∢ d. neg. g. Kr. = Durchschnittswert des Winkels der negativ geotropischen Krümmung bei den verwendeten Keimlingen.

Protokoll Nr. 9. Zur Photographie Fig. 8 *a* und *b*. (ad *B*; Text p. 306 und 309.)

Heliotropischer Versuch mit vertikalen, zunächst von der Seite, später von unten beleuchteten Keimlingen der Erbse.

Beginn des Versuches am 9. Jänner 1906, $9^h\,45^m$ a.

Rund 1 *cm* hohe, in Gläschen gesetzte, im Warmhause des Gewächshauses ausgekeimte, schlanke, gerade, negativ geotropische Keimlinge der Erbse wurden am 9. Jänner 1906 unter mit feuchtem Filtrierpapier umhäuften Glocken der Wirkung sowohl der gasförmigen Verunreinigungen der Luft wie einer seitlichen Beleuchtung von zwei in der Höhe der Keimlinge befindlichen Gasflammen ausgesetzt.

Am 10. Jänner zeigten alle das typische Aussehen der Laboratoriumspflanzen und waren etwa um 90° von der Vertikalen gegen die Lichtquelle gekrümmt.

Am 13. Jänner wurden sie unter Dunkelstürzen ins Warmhaus des Gewächshauses übertragen, die Glocken gelüftet, mit Leitungswasser ausgespült und die Versuche mit Wasserabschluß wieder unter Dunkelstürzen in die Dunkelkammer übertragen, wo die eine Glasglocke gehoben und mit feuchtem Filtrierpapier umgeben wurde.

Bei der Fortsetzung des Versuches wurden die Erbsen in der p. 309 beschriebenen Weise von unten beleuchtet.

Am 15. Jänner wurde der Versuch aus der reinen Luft beendet und um 1^h p. photographiert, unmittelbar darauf gemessen.

Erst am 19. Jänner wurden auch die Pflanzen der verunreinigten Luft aufgenommen, weil erst noch die Entwicklung einer etwas längeren, herabgewachsenen Strecke abgewartet wurde, um das Bild möglichst klar zu machen. Wenn also die erhaltenen Längendifferenzen diesmal auch in nicht so auffallender Weise zu Gunsten der Pflanzen in reiner Luft ausgefallen sind, so sind sie immer noch groß genug. Ihre relative Kleinheit erklärt sich aber aus dem Vergleiche verschieden alter Keimlinge.

Das Vorhandensein der Zickzackkrümmung bei den Pflanzen in reiner, der Hakenkrümmung in verunreinigter Luft hat eine Neueinführung von Bezeichnungen nötig gemacht.

Es heiße das erste aufrechte Stück: a, die horizontale Strecke: b, die aufwärts- beziehungsweise abwärtsstrebende Strecke: c, der Durchschnittswert des Winkels, den a mit b einschließt: α, der Durchschnittswert des Winkels, den b mit c einschließt: β.

Der Versuch war durchwegs mit vier Glastöpfchen mit je fünf Keimlingen ausgeführt, wovon im Versuche mit der Beleuchtung von unten je zwei gleichartig behandelt wurden. Natürlich wurde immer nur ein Glastöpfchen mit fünf Erbsen aufgenommen, die Mittelwerte der Tabelle sind aber von sämtlichen je zehn gleichartig behandelten Keimlingen genommen.

Messungsergebnis.

Erhalten am 15. Jänner für die Pflanzen in reiner Luft				Erhalten am 19. Jänner für die Pflanzen in unreiner Luft			
α	β	DL	DD	α	β	DL	DD
87°	103·7°	$a = 1·49$ *cm*	von $a = 3·45$ *mm*	82·1°	122·1°	$a = 1·39$ *cm*	von $a = 3$ *mm*
		$b = 1·57$	» $b = 3·6$			$b = 1·8$	» $b = 3·5$
		$c = 9·43$	» $c = 2·16$			$c = 1·64$	» $c = 4$

Protokoll Nr. 10. Zur Photographie Fig. 11 *a*, *b*, *c*, *d*. (ad *C*; Text p. 313.)

Versuch über den negativen Geotropismus von Futter- und Sandwicken in reiner und unreiner Luft im Dunkeln.

Die Versuchspflanzen waren im Glashaus im Dunkeln, *Sa* im Maximum bis 0·3 *cm*, *Fu* bis 0·1 *cm DL* herangewachsen.
* ⊥ in aufrechter, ** ⊣ in umgelegter Stellung; jeder Topf mit je 7 *Sa* und je 7 *Fu* bepflanzt.

Tag	Uhr	Temp.	*a)* Futterwicke			
			reine Luft		unreine Luft	
			⊥ *	⊣ **	⊥	⊣
25. März	7^h a.	22°	3 Keimlinge sichtbar	4 Keimlinge sichtbar, alle geotropisch gekrümmt	6 Keimlinge sichtbar, nach allen Richtungen verkrümmt	4 Keimlinge sichtbar, keiner geotropisch
26. März	7^h a.	22°	*DL* d. 7 Keiml. 1 *cm*, alle gerade und schmächtig	*DL* der 7 Keiml. 1 *cm*, alle stark geotropisch gekrümmt, ∢ d. neg. g. Kr. 90°	*DL* der 7 Keiml. 0·5 *cm*, nach allen Richtungen verkrümmt, stark verdickt	7 Keimlinge sichtbar, nur 2 neg. geotr. unter ∢ von 45°, sonst keiner; verdickt
27. März	$8^h\ 30^m$ a.	23°	*DL* 3 *cm*, schlank, gerade	*DL* 3 *cm*, alle sehr stark geotrop., schlank, schmächtig	*DL* 0·8 *cm*, sonst wie oben	*DL* 0·8 *cm*, 3 etwas geotropisch, die anderen nicht; sonst wie oben
28. März	$8^h\ 30^m$ a.	22°	*DL* 6 *cm*, sonst wie oben	*DL* 6 *cm*, sonst wie oben	*DL* 1·5 *cm*, sonst wie oben	*DL* 1 *cm*, sonst wie oben

Tag	Uhr	Temp.	*b)* Sandwicke			
			reine Luft		unreine Luft	
			⊥	⊣	⊥	⊣
25. März	7h a.	22°	6 Keimlinge sichtbar	6 Keimlinge sichtbar, alle geotropisch gekrümmt	7 Keimlinge sichtbar, verdickt, verkrümmt	7 Keimlinge sichtbar, alle geotropisch
26. März	7h a.	22°	*DL* der 7 Keiml. 1 *cm*, vollkommen gerade	*DL* der 7 Keiml. 1 *cm*, 5 stark geotropisch, ∢ d. neg. g. Kr. 90°	*DL* der 7 Keiml. 0·5 *cm*, nach allen Richtungen verkrümmt, etwas verdickt	*DL* der 7 Keiml. 0·5 *cm*, 3 stark geotropisch, ∢ der neg. g. Kr. 90°, bei 2 Keimlingen 30°, bei 1 Keimling 0°
27. März	8h 30m a.	23°	*DL* 3 *cm*, schlank, gerade	*DL* 3 *cm*, sonst wie oben	*DL* 2 *cm*, sonst wie oben	*DL* 1·5 *cm*, 3 geotropisch gekrümmt
28. März	8h 30m a.	22°	*DL* 6 *cm*, sonst wie oben	*DL* 6 *cm*, alle stark geotropisch gekrümmt, ∢ der neg. g. Kr. 90°	*DL* 4 *cm*, sonst wie oben	*DL* 4 *cm*, 5 geotropisch gekrümmt, 3 unter ∢ von 90°, 1 » ∢ » 45°, 1 » ∢ » 5°, die anderen nicht
28. März	12h 30m p.	—	Wurde der Versuch abgeschlossen und photographiert.			

Messungsergebnis unmittelbar nach der photographischen Aufnahme.

Reine Luft						Unreine Luft					
⊥			⊣			⊥			⊣		
Die Keimlinge sind	*DL*	*DD*	∢ d. neg. g. Kr.	*DL*	*DD*	Die Keimlinge sind	*DL*	*DD*	∢ d. neg. g. Kr.	*DL*	*DD*
a) Futterwicke											
	cm	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*
Aufrecht, gerade	6·3	u. 1·5 m. 1 o. 1	90°	2+5·7 = 7·7	u. 1·5 m. 1·5 o. 1	Nach all. Seiten verkrümmt	0·77+1·3[1] = 2·07	u. 2 m. 3 o. 1	40°	0·7+0·94 = 1·64	u. 2·5 m. 3 o. 1·5
b) Sandwicke											
	cm	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*
Aufrecht, gerade	7·3	u. 1 m. 0·8 o. 0·8	90°	0·12+6 = 6·12	u. 1 m. 0·8 o. 0·8	Nach all. Seiten verkrümmt	0·3+2·4[1] = 2·7	u. 1·5 m. 1 o. 1	45·7°	0·85+2·5 = 3·35	u. 2 m. 1·2 o. 1

[1] Durchschnittswert der »horizontal nutierenden« Zuwächse.

Protokoll Nr. 11. Zur Photographie Fig. 10 *a* und *b*. (ad *C*; Text p. 314.)

Versuch über den negativen Geotropismus von Vicia Faba, große Varietät, in reiner und unreiner Luft im Dunkeln.

Vom 6. April 1905.

Messungsergebnis am 12. April 1905.

Reine Luft						Unreine Luft					
aufrechte Wicken			umgelegte Wicken			aufrechte Wicken			umgelegte Wicken		
Die Keimlinge sind	*DL*	*DD*	∢ d. neg. g. Kr.	*DL*	*DD*	Die Keimlinge sind	*DL*	*DD*	∢ d. neg. g. Kr.	*DL*	*DD*
	cm	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*		*cm*	*mm*
Aufrecht, gerade	12·3	u. 3·5 m. 3 o. 3·5	96°	16·6	u. 4 m. 4·5 o. 4	Aufrecht, mehr minder gerade	8·5	u. 5 m. 5 o. 5	61·6°	8·7	u. 4·5 m. 5 o. 4

Figurenerklärung.

Tafel I.

Fig. 1. Heliotropischer Versuch mit Erbsen. Vergl. Text p. 269.
Die Lichtquelle wäre in der Photographie zwischen I und II zu denken.
II Keimlinge in reiner, I in unreiner Luft.

Fig. 2. Der Grundversuch zur Demonstration der verschiedenen Empfindlichkeit verschiedener Wickenspezies sowohl gegen die gasförmigen Verunreinigungen der Luft wie gegen das Licht. Vergl. Text p. 274 und Protokoll Nr. 2.
I und II Sand-, 1 und 2 Futterwicken; I und 1 in verunreinigter, II und 2 in reiner Luft.

Fig. 3. Ein photometrischer Versuch mit Sand- und Futterwicken. Vergl. Text p. 282 und Protokoll Nr. 3.
1 und 2 die Sand-, I und II die Futterwicken; I und 1 in reiner, II und 2 in verunreinigter Luft.

Tafel II.

Fig. 4 und 5. Ein heliotropischer Versuch mit phosphoreszierenden Substanzen mit gleichzeitiger Darstellung der Versuchsanordnung.
Die Glocke links in Fig. 4 steht in einer Glasschale mit Wasser und ist durch dieses von der umgebenden Luft abgeschlossen. Das abgeschlossene Luftquantum wurde aus dem Glashause geholt. Die Glocke rechts im Bild ist durch ein Glasröhrchen über die Oberfläche einer dünnen Wasserschichte in der zweiten Glasschale gehoben und mit Filtrierpapier umhäuft. Die vier Blumentöpfe stehen auf umgekehrten Glasschalen, die ein im Wasserstehen der Wurzeln verhindern.
Zwischen beiden Glocken hängen an einem Drahte die verwendeten drei Gläschen mit den phosphoreszierenden Substanzen. Der Versuch stand auf dem Versuchstisch der Dunkelkammer.
In Fig. 5 ist der Versuch ohne Glasglocken abgebildet.
I und II sind die Futter-, 1 und 2 die Sandwicken.
In der Mitte sind die Gläschen mit den phosphoreszierenden Substanzen, jetzt in Sand gesteckt aufgenommen. Vergl. Text p. 286 und Protokoll Nr. 4.

Tafel III.

Fig. 6. Ein Induktionsversuch. Vergl. Text p. 289 und Protokoll Nr. 5 und 6.
I und II Sand-, 1 und 2 Futterwicken; I und 1 in verunreinigter, II und 2 in reiner Luft.

Fig. 7. Ein heliotropischer Versuch mit Erbsen mit Beleuchtung von unten. Vergl. Text p. 306 und 308 und Protokoll Nr. 8.
a) Keimlinge in reiner, *b)* in verunreinigter Luft.

Fig. 8 *a)* und *b)*. Ein heliotropischer Versuch mit Erbsenkeimlingen, zunächst mit Beleuchtung von der Seite, dann von unten. Vergl. Text p. 306 und 309 und Protokoll Nr. 9.
Während der Seitenbeleuchtung waren alle Versuchskeimlinge der Laboratoriumsluft ausgesetzt; bei der weiteren Beleuchtung von unten nur die Keimlinge der Fig. 8 *b)*.
Fig. 8 *a)* stellt die in reine Luft übertragenen, von unten beleuchteten Pflanzen dar.

Tafel IV.

Fig. 9. Der neue Thermostat für Lichtkulturen von Molisch. Vergl. die Beschreibung p. 300; t und t_1 Türen.

Fig. 10 *a)* und *b)*. *Vicia Faba*-Keimlinge im Dunkeln, horizontal gelegt. Vergl. Text p. 314 und Protokoll Nr. 11.
a) in reiner, *b)* in verunreinigter Luft.

Fig. 11 *a)*, *b)*, *c)*, *d)*. Ein geotropischer Versuch mit Wicken. Vergl. Text p. 313 und Protokoll Nr. 10.
In den umgelegten Töpfen *a* und *b* bilden die Futterwicken die untere, die Sandwicken die obere Reihe. Bei den aufrechten Blumentöpfen sind die Futterwicken in den vorderen Reihen.
a und *c* befanden sich in reiner, *b* und *d* in verunreinigter Luft.

Inhaltsangabe.

Fig 1.

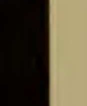


Fig. 2.

Fig. 3.

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.

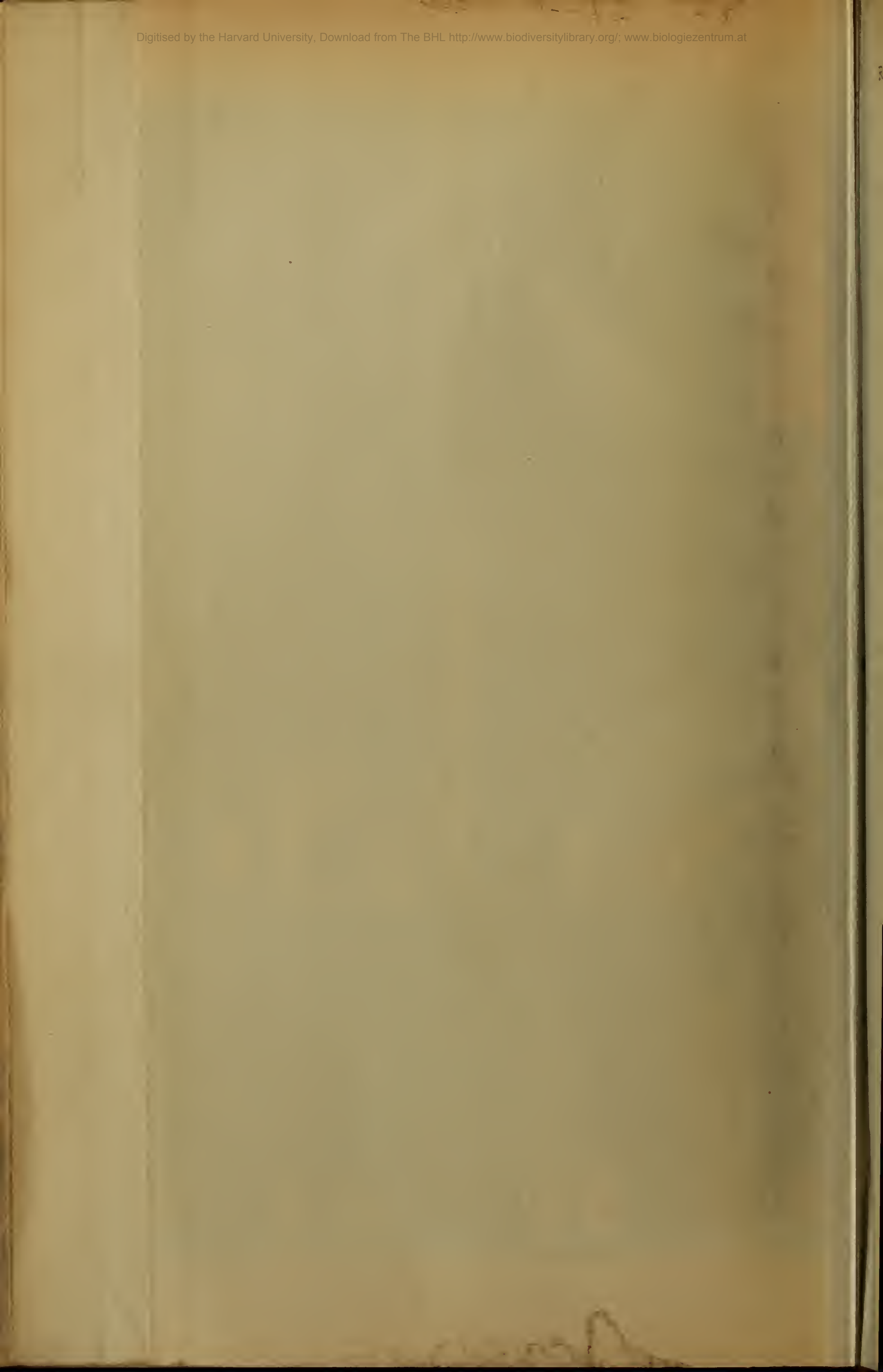




Fig. 4.



Fig. 5.

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.

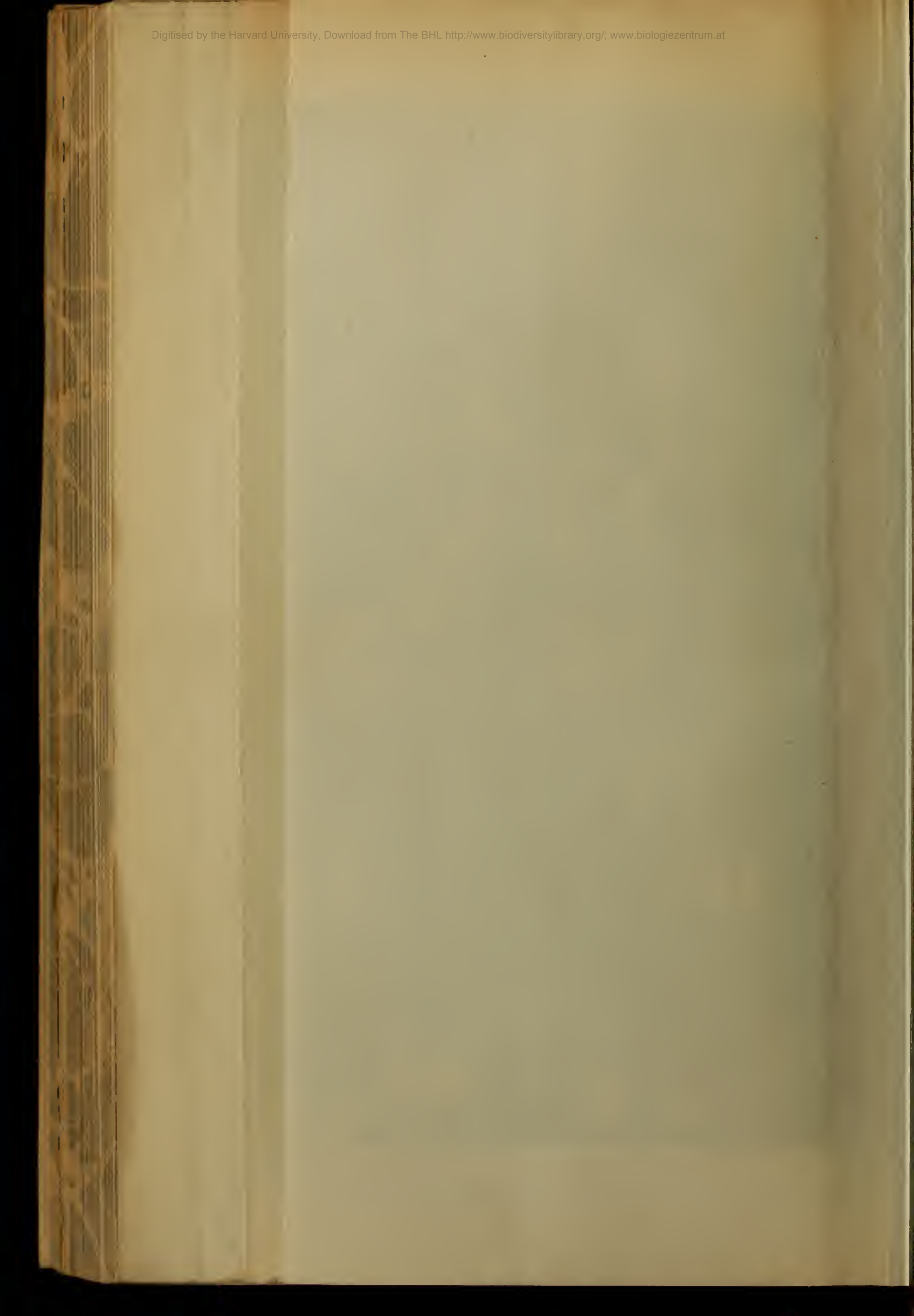




Fig. 6.

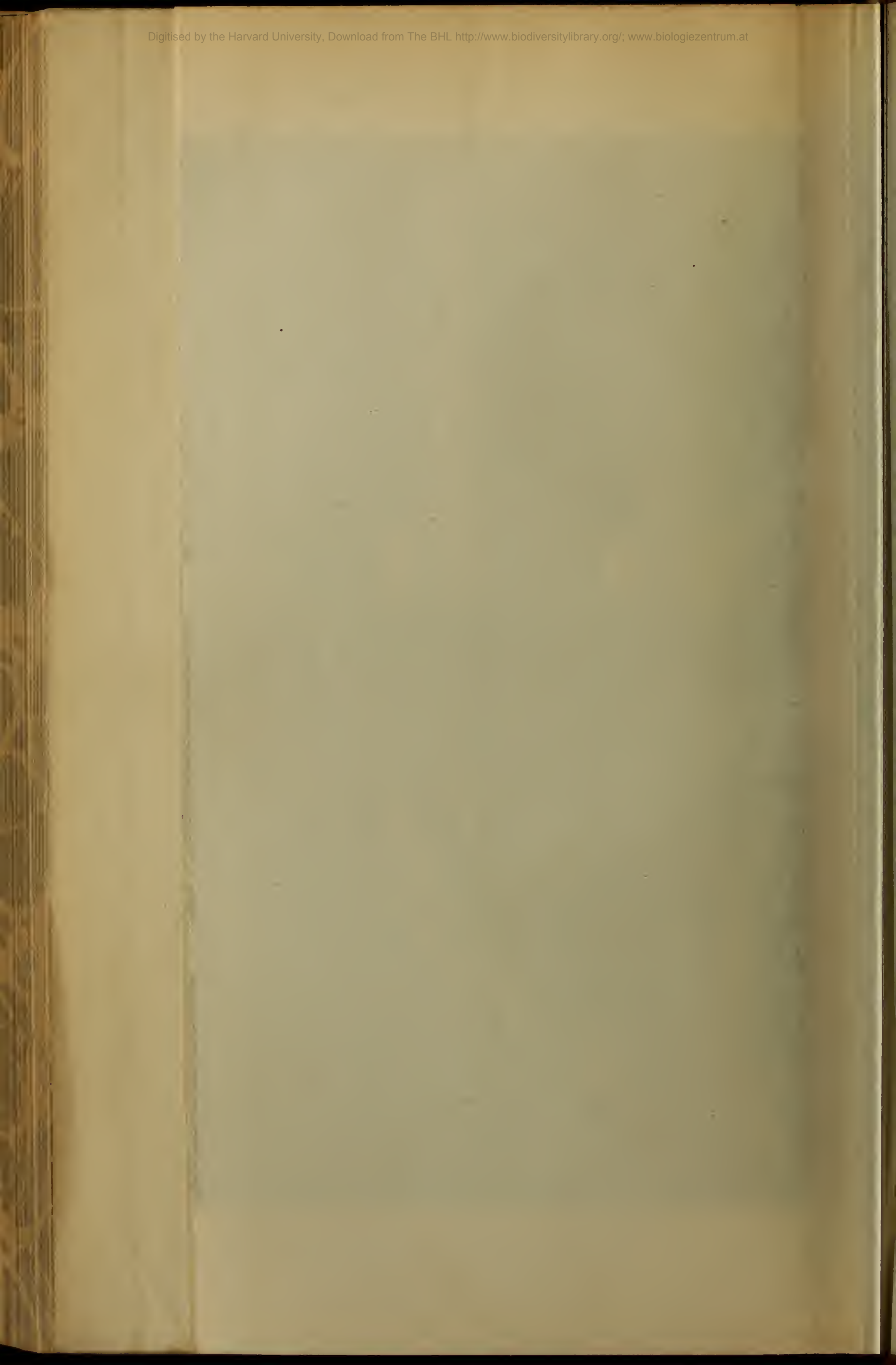
Fig. 7 a.

Fig. 7 b.

Fig. 8 a.

Fig. 8 b.

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.



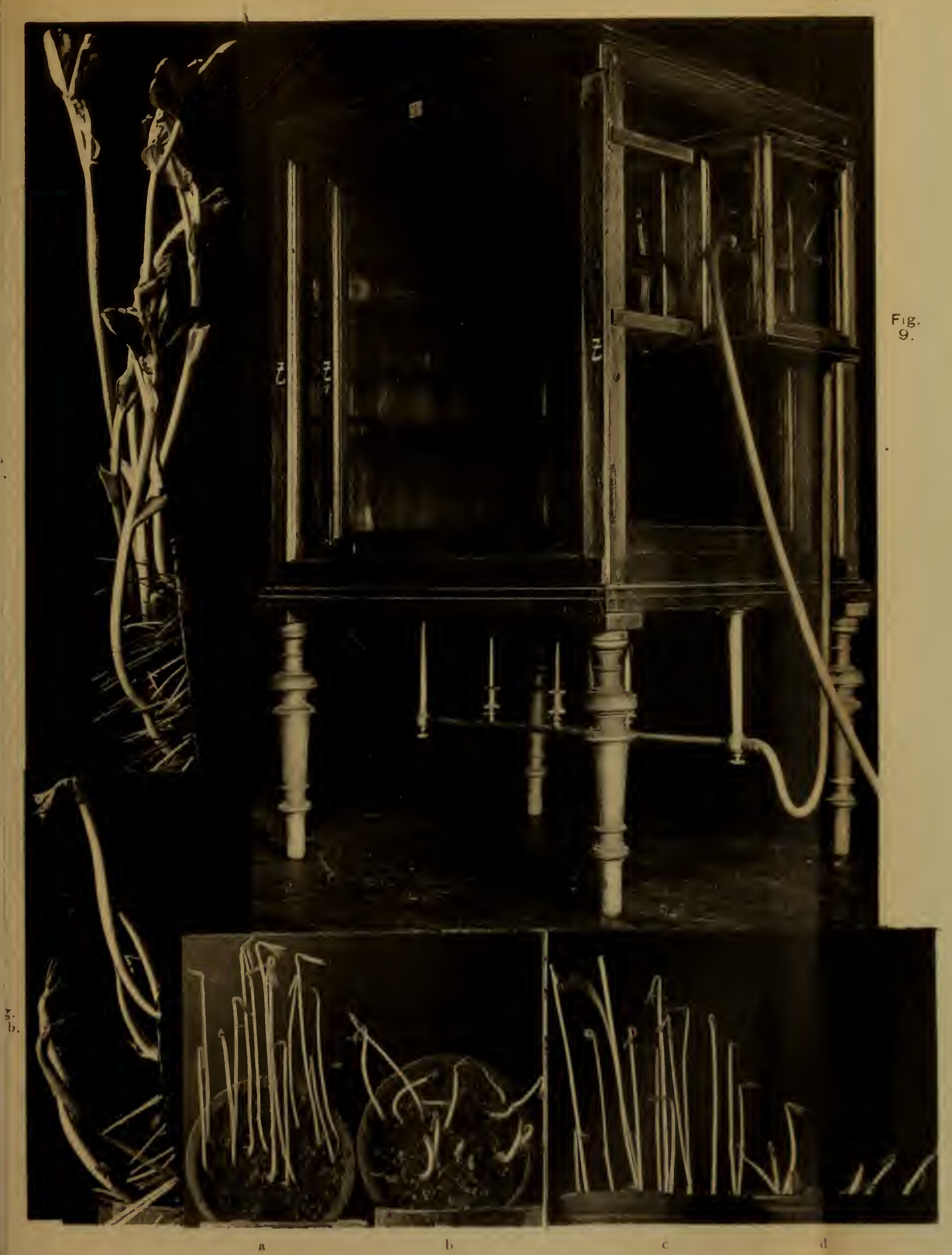


Fig. 9.

a b c d

Fig. 11.

Lichtdruck v. Max Jaffe, Wien.